

Mestrado Integrado em Engenharia Química

Revestimentos para reduzir o teor de formaldeído no ar interior

Tese de Mestrado

de

Maria Florisa Teixeira Pereira

Desenvolvida no âmbito da unidade curricular de Dissertação

realizado em

CIN - Corporação Industrial do Norte, S.A.



Orientador na FEUP: Prof. Adélio Mendes

Orientador na CIN: Dr.^a Iracema Belinha



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
FEUP

Departamento de Engenharia Química

Fevereiro de 2014

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu antes,
mas pensar o que ninguém pensou sobre aquilo que todos veem.”

Arthur Schopenhauer

Agradecimentos

Ao Centro de I&D do Grupo CIN, na pessoa do Eng. João Machado, pela oportunidade de desenvolver a minha dissertação de mestrado e por todo o apoio, acompanhamento e recursos disponibilizados.

À minha orientadora na CIN, a Dr.^a Iracema Belinha, pelos conhecimentos partilhados, paciência, palavras sensatas e encorajadoras, apoio e confiança depositada em mim e neste projeto, não medindo esforços para que fossem atingidos os objetivos.

Ao meu orientador na FEUP, o Prof. Adélio Mendes, pela orientação, acompanhamento científico, dedicação, disponibilidade e entusiasmo que sempre demonstrou para que este projeto fosse um sucesso.

À Eng.^a Filomena Braga, à Dr.^a Etelvina Veludo e à Eng.^a Fernanda Oliveira por todo o apoio, acompanhamento, orientação e partilha de conhecimentos.

À Prof.^a Luísa Carvalho, ao Prof. Jorge Martins e à Prof.^a Cristina Coelho pelos conhecimentos transmitidos, pela cedência de reagentes e equipamentos em Viseu, pela hospitalidade e atenção que sempre tiveram para comigo durante as viagens e estadia em Viseu.

Ao Eng. João Pereira pela paciência e disponibilidade durante a execução dos ensaios em Viseu.

A todos os engenheiros e analistas do Centro de I&D, nomeadamente à Sandra, Cristiana, Joana Monteiro, Joana Pimenta e ao Manuel, por toda a partilha de conhecimentos, por tão bem me acolherem na equipa e no laboratório.

À ARCP pelo apoio prestado no início deste projeto.

Ao Pedro Carrapiço, companheiro de todas as horas ao longo desta dissertação e do curso, pela interminável paciência, apoio e amizade.

À Carina Novais, à Ana Oliveira e ao Sérgio Pinto pela amizade e apoio, pelos sorrisos e pelo carinho que tiveram para comigo ao longo destes 5 anos de curso.

Ao (meu) grupo de acólitos pela amizade, companheirismo, por terem suportado a minha falta de paciência e a minha ausência durante estes meses, e por serem um “porto de abrigo”.

Aos Jovens Por Matosinhos, nomeadamente ao João Pereira, à Tânia Ferreira, à Inês Guilherme Pinto, ao Tiago Maia, à Beatriz Carvalho, ao João Torres, ao Gustavo Pinhal e ao Tiago Eusébio, não esquecendo os grandes mentores, à Isabel Fragoso e ao Guilherme Pinto, pela esperança que depositaram em mim e por toda a força que me deram ao longo deste percurso.

Aos meus pais e ao meu irmão, por acreditarem em mim e por nunca terem baixado os braços para que eu concretizasse os meus sonhos e os meus objetivos, por serem o melhor da minha vida.

Resumo

Em Maio de 2013 o Conselho Europeu estabeleceu três grandes objetivos a atingir até 2020. Esses objetivos consistem em reduzir as emissões de dióxido de carbono em 20 % em relação aos níveis de 1990, aumentar a quota de fontes de energia renováveis para 20 % e aumentar em 20 % a eficiência energética, incluindo a eficiência energética dos edifícios. O aumento da eficiência energética dos edifícios tem levado à diminuição das renovações do ar interior, o que consequentemente acarreta o aumento da concentração de poluentes no seu interior. Torna-se por isso essencial desenvolver soluções que garantam a remoção destes compostos do ar interior, melhorando assim a qualidade do ar.

O formaldeído é um composto volátil incolor que está muitas vezes presente no interior dos edifícios dado que as suas principais fontes de emissão são os materiais de construção, contraplacados, líquidos de limpeza, adesivos, etc. A *International Agency for Research on Cancer* classificou o formaldeído como um composto cancerígeno humano (Grupo 1).

Neste trabalho procedeu-se à incorporação de duas emulsões com grupos funcionais captadores de formaldeído e de um aditivo conhecido por ser captador de formaldeído numa tinta mate de elevada qualidade. Para cada captador foi estudada a influência da concentração de pigmento em volume (CPV) da tinta, do modo de incorporação do aditivo e do tempo de secagem da película de tinta. A capacidade de captação de formaldeído foi determinada através da adaptação do método do exsicador (JIS A 1460).

As emulsões captadoras de formaldeído apresentam uma maior capacidade de captação de formaldeído para CPVs mais baixos enquanto o aditivo adicionado em fase de dispersão apresenta uma maior captação de formaldeído para revestimentos com CPVs mais elevados. Em fase de pós-adição, o aditivo apresenta melhores resultados de captação de formaldeído. Apesar da elevada capacidade de captação de formaldeído, o aditivo interfere com a resina das tintas originando produtos instáveis. Relativamente ao tempo de secagem, verifica-se que os revestimentos apresentam maior poder de captação de formaldeído para tempo de secagem mais elevado.

Em suma, a tinta com melhor capacidade de captação e com boas características de resistência e aplicabilidade corresponde à tinta com uma das emulsões captadoras (emulsão A) com um CPV de 54,4 % e um tempo de secagem de 28 dias. Esta tinta apresenta uma taxa de remoção de 106,4 mg de formaldeído por m² de superfície revestida de tinta em 24 h.

Palavras-chave:

formaldeído, captadores, ar interior, tinta

Abstract

In May 2013 the European Council set three targets to be achieved by 2020: to reduce CO₂ emissions by 20 % compared to the levels of 1990, to increase the share of energy produced from renewable sources up to 20% and to increase energy efficiency by 20%. Increasing buildings' energy efficiency leads to decrease the renewal of indoor air, which consequently leads to the concentration of pollutants namely carcinogens inside buildings. Therefore, it becomes essential to develop products that ensure the removal of these compounds, improving indoor air quality.

Formaldehyde is a colourless reactive vapor that exists inside buildings due to the fact that its major sources of emissions are the materials of construction, plywood, cleaners and adhesives. The International Agency for Research on Cancer has classified it as a human carcinogen (Group 1).

Throughout this work, two emulsions with formaldehyde scavenger functional groups and a formaldehyde scavenger additive were sequentially added to a high quality matt paint. The influence of the pigment volume concentration (*PVC*), of the method of incorporation and of the additive and the drying time of the paint film was studied for each scavenger. Formaldehyde abatement was analyzed using an adaptation of the desiccator method (JIS A 1460:2001).

The two emulsions showed a higher capacity of formaldehyde abatement when used in paint with lower *PVCs* while the additive exhibited the opposite trend; the additive performed better when post-added. Despite the high capacity, the use of the selected additive originated a paint that loses properties very quickly. Regarding the drying time, it appears that the coatings have a higher capacity to capture formaldehyde when faced with higher drying time.

In summary, the coat that showed the highest formaldehyde capture rate and with good characteristics was the coat with emulsion A. This coat has 54,4 % of *PVC* and adsorbed 106,4 mg of formaldehyde per m² of surface area coated in 24 h.

Keywords:formaldehyde, scavengers, indoor air, coat paint

Declaração

Declara, sob compromisso de honra, que este trabalho é original e que todas as contribuições não originais foram devidamente referenciadas com identificação da fonte.

Porto, 21 de Fevereiro de 2014

Maria Florisa Teixeira Pereira

(Maria Florisa Teixeira Pereira)

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Motivação e Enquadramento do Projeto.....	1
1.2	Apresentação da Empresa	1
1.3	Contributos do Trabalho.....	1
1.4	Organização da Tese	1
2	Estado da Arte	3
2.1	Qualidade do ar interior	3
2.2	Formaldeído.....	4
2.2.1	Captadores naturais	6
2.2.2	Captadores químicos	7
2.3	Tintas.....	10
3	Descrição Técnica.....	13
3.1	Composição das tintas.....	13
3.2	Quantificação da captação de formaldeído	16
3.2.1	Método de análise de gás.....	16
3.2.2	Método do exsicador.....	17
3.3	Caracterização da tinta	18
3.3.1	Estabilidade acelerada	18
3.3.2	Temperatura mínima de formação de película	18
3.3.3	Resistência à fissuração de uma tinta para espessuras elevadas.....	18
3.3.4	Resistência à amónia e água líquida.....	19
3.3.5	Resistência aos álcalis dos ligantes hidráulicos.....	19
3.3.6	Resistências ao polimento em húmido e seco da película de tinta	19
3.3.7	Resistência ao manchamento (nódoa) da película de tinta	19
3.3.8	Resistência de uma película de tinta à captação de sujidade	20
3.3.9	Resistência à esfrega húmida	20
3.3.10	Resistência à esfrega húmida e lavabilidade	20
3.3.11	Aplicação prática em gesso cartonado.....	20

4	Resultados e discussão	21
4.1	Quantificação da captação de formaldeído	21
4.1.1	Método de análise de gás	21
4.1.2	Método do exsicador.....	22
4.2	Caracterização da tinta	28
4.2.1	Caracterização simplificada.....	28
4.2.2	Estabilidade acelerada	31
4.2.3	Temperatura mínima de formação de película	33
4.2.4	Resistência à fissuração de uma tinta para espessuras elevadas.....	33
4.2.5	Resistência à amónia e água líquida.....	33
4.2.6	Resistência aos álcalis dos ligantes hidráulicos.....	33
4.2.7	Resistência ao manchamento (nódoa) da película de tinta	34
4.2.8	Resistências ao polimento em húmido e seco da película de tinta	34
4.2.9	Resistência de uma película de tinta à captação de sujidade	35
4.2.10	Resistência à esfrega húmida.....	35
4.2.11	Resistência à esfrega húmida e lavabilidade	35
4.2.12	Aplicação prática em gesso cartonado.....	36
4.3	Avaliação económica	36
4.4	Simulação.....	36
5	Conclusões	37
6	Avaliação do trabalho realizado.....	38
6.1	Objetivos realizados.....	38
6.2	Limitações e trabalho futuro	38
6.3	Apreciação final	38
	Referências	39
Anexo 1	Determinação da massa de aditivo X incorporada na tinta	42
Anexo 2	Quantificação da captação de formaldeído através do método de análise de gás	44
Anexo 3	Quantificação da captação de formaldeído através do método do exsicador.....	47
Anexo 4	Resultados obtidos utilizando o método do exsicador	49

Anexo 5	Classificação da resistência ao manchamento (nódoa)	50
Anexo 6	Avaliação da aplicação prática em gesso cartonado	51

Índice de Figuras

<i>Figura 2.1 - Fórmula estrutural do formaldeído.....</i>	<i>4</i>
<i>Figura 2.2 - Teor de formaldeído em função da incorporação de várias percentagens de solução de taninos.....</i>	<i>6</i>
<i>Figura 2.3 - Teor de formaldeído e emissão de formaldeído em função da incorporação de diferentes captadores naturais</i>	<i>7</i>
<i>Figura 2.4 - Teor de formaldeído em função da percentagem de resina e captador</i>	<i>8</i>
<i>Figura 2.5 - Comparação do teor de formaldeído em função da quantidade de captador para três captadores</i>	<i>9</i>
<i>Figura 3.1 - Método de análise de gás - fotografia da instalação para aplicação do método</i>	<i>17</i>
<i>Figura 3.2 - Método do exsicador - fotografia do exsicador com uma amostra de película tinta no seu interior.</i>	<i>17</i>
<i>Figura 4.1 - Captação de formaldeído pela tinta “Resina A - 62,6 % CPV” caracterizada utilizando o método de análise de gás.</i>	<i>21</i>
<i>Figura 4.2 - Comparação da fração de captação de formaldeído da resina A e B (tempo de secagem: 5 dias).....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 4.3 - Comparação da taxa de remoção de formaldeído da resina A e B (tempo de secagem: 5 dias).....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 4.4 - Comparação da fração de captação de formaldeído da resina A para diferentes tempos de secagem da película (5 e 28 dias)</i>	<i>25</i>
<i>Figura 4.5 - Comparação da taxa de remoção de formaldeído da resina A para diferentes tempos de secagem da película (5 e 28 dias)</i>	<i>25</i>
<i>Figura 4.6 - Revestimentos com melhores resultados de fração de captação de formaldeído.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 4.7 - Revestimentos com melhores resultados de taxa de remoção de formaldeído.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 4.8 - Película de tinta com aditivo X após ensaio utilizando o método de exsicador</i>	<i>28</i>
<i>Figura 4.9 - Sais recolhidos após cristalização do líquido formado na película de tinta após ensaio ...</i>	<i>28</i>
<i>Figura 4.10 - Adição de aditivo X á resina A.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 4.11 - Adição de aditivo X à resina constituinte da tinta REF.</i>	<i>31</i>
<i>Figura 4.12 - Viscosidade stormer - comparação do valor imediato com o obtido após 15 e 30 dias de ensaio de estabilidade.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 4.13 - Índice de brancura - comparação do valor imediato com o obtido após 15 e 30 dias de ensaio de estabilidade.....</i>	<i>32</i>

<i>Figura 4.14 - Índice de amarelecimento - comparação do valor imediato com o obtido após 15 e 30 dias de ensaio de estabilidade</i>	<i>32</i>
<i>Figura 4.15 - Fotografia do aspeto físico da tinta com aditivo X após 15 dias de ensaio de estabilidade</i>	<i>33</i>
<i>Figura 4.16 - Fotografia das películas com as nódoas aplicadas</i>	<i>34</i>
<i>Figura 4.17 - Fotografia das películas manchadas após lavagem e/ou remoção.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 4.18 - Aumento de brilho após polimento seco e húmido</i>	<i>34</i>
<i>Figura 4.19 - Percentagem de variação de brilho após polimento seco e húmido.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 0.1 - Fotografia do provete de MDF e carta LENETA com película de tinta</i>	<i>44</i>
<i>Figura 0.2 - Fotografia da câmara de gás 1 e 2</i>	<i>45</i>
<i>Figura 0.3 - Fotografia dos frascos de lavagem de gás</i>	<i>45</i>
<i>Figura 0.4 - Representação gráfica da classificação da resistência ao manchamento (nódoa).....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 0.5 - Representação gráfica da avaliação da aplicação prática em gesso cartonado.....</i>	<i>51</i>

Índice de Tabelas

<i>Tabela 2.1 - Fontes de emissão e limiares de proteção para os poluentes do ar interior</i>	<i>3</i>
<i>Tabela 2.2 - Propriedades físico-químicas do formaldeído</i>	<i>4</i>
<i>Tabela 2.3 - Exemplos de cargas naturais e sintéticas aplicadas em tinta</i>	<i>11</i>
<i>Tabela 2.4 - Aditivos e respetivas funções quando aplicados em tintas</i>	<i>11</i>
<i>Tabela 3.1 - Propriedades das tintas com a resina A e B.....</i>	<i>15</i>
<i>Tabela 3.2 - Propriedades das tintas com aditivo X.....</i>	<i>15</i>
<i>Tabela 4.1 - Fração de captação e taxa de remoção de formaldeído para as tintas com a resina A (Tempo de secagem: 5 dias)</i>	<i>23</i>
<i>Tabela 4.2 - Fração de captação e taxa de remoção de formaldeído para as tintas com a resina B (Tempo de secagem: 5 dias)</i>	<i>23</i>
<i>Tabela 4.3 - Fração de captação e taxa de remoção de formaldeído para as tintas com a Resina A (Tempo de secagem: 28 dias)</i>	<i>24</i>
<i>Tabela 4.4 - Fração de captação e taxa de remoção de formaldeído para as tintas com aditivo X incorporado em fase de dispersão e em pós-adição à tinta de referência (Tempo de secagem: 5 dias)</i>	<i>26</i>
<i>Tabela 4.5 - Fração de captação e taxa de remoção de formaldeído para a tinta com a resina A e aditivo X incorporado em fase de dispersão (Tempo de secagem: 5 dias)</i>	<i>26</i>
<i>Tabela 4.6 - Caracterização simplificada das tintas com a resina A e B</i>	<i>29</i>
<i>Tabela 4.7 - Caracterização simplificada das tintas com o aditivo X.....</i>	<i>30</i>

<i>Tabela 4.8 - Resistência à amônia e à água</i>	<i>33</i>
<i>Tabela 4.9 - Resistência da película de tinta à captação de sujidade</i>	<i>35</i>
<i>Tabela 4.10 - Resistência à esfrega húmida e lavabilidade</i>	<i>35</i>
<i>Tabela 4.11 - Dimensões da divisão</i>	<i>36</i>
<i>Tabela 0.1 - Propriedades do painel derivado de madeira [26].....</i>	<i>42</i>
<i>Tabela 0.2 - Absorvância, massa captada e não captada de CHOH obtidas a partir do método do exsicador</i>	<i>49</i>
<i>Tabela 0.3 - Classificação da resistência ao manchamento (nódoa) e média das classificações.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabela 0.4 - Avaliação da aplicação prática em gesso cartonado</i>	<i>51</i>

Notação e Glossário

<i>CPV</i>	concentração de pigmento em volume	%
<i>CCPV</i>	concentração crítica de pigmento em volume	%
<i>Fração de captação_{CHOH}</i>	fração de captação de formaldeído	%
<i>Taxa de captação_{CHOH}</i>	taxa de remoção de formaldeído	mg CHOH·m ⁻² ·dia ⁻¹

Lista de Siglas

CE	Comissão Europeia
COV	Compostos orgânicos voláteis
EPA	<i>U. S. Environmental Protection Agency</i>
IARC	<i>International Agency for Research on Cancer</i>
IUPAC	<i>International Union of Pure and Applied Chemistry</i>
MDF	Aglomerados de fibras obtidos por via seca
PM_{2,5}	Partículas suspensas de diâmetro aerodinâmico inferior a 2,5 µm
PM₁₀	Partículas suspensas de diâmetro aerodinâmico inferior a 10 µm
TMFP	Temperatura mínima de formação de película
UF	Resina de ureia-formaldeído

1 Introdução

1.1 Motivação e Enquadramento do Projeto

A 3 de Março de 2010 a Comissão Europeia (CE) definiu a Estratégia Europa 2020 e apresentou, no domínio da energia/ambiente, um quadro legislativo que compreende três grandes metas a atingir em 2020. Estas metas consistem em reduzir as emissões de dióxido de carbono em 20 % em relação aos níveis registados em 1990, aumentar a quota de fontes de energia renováveis para 20 % e aumentar em 20 % a eficiência energética [1, 2].

O aumento da eficiência energética em edifícios pressupõe a implementação de estratégias que diminuam o consumo energético, nomeadamente o aumento do isolamento térmico dos edifícios e a diminuição das renovações de ar interior de forma a reduzir as perdas térmicas. Esta última medida acarreta como consequência o aumento de compostos poluentes no ar interior dos edifícios com efeitos nocivos para a saúde e bem-estar dos utilizadores, contribuindo, assim para uma menor qualidade do ar interior [3]. Torna-se por isso essencial desenvolver produtos, como revestimentos captadores, que garantam a remoção destes compostos melhorando, assim, a qualidade do ar interior.

1.2 Apresentação da Empresa

A CIN-Corporação Industrial do Norte, S.A. tem como principal atividade a produção e comercialização de tintas, vernizes e produtos afins em diversos segmentos de mercado: decorativos, indústria, anticorrosão e acessórios. No mercado das tintas e vernizes, o Grupo CIN lidera o mercado nacional desde 1992 e o mercado ibérico desde 1995 [4].

1.3 Contributos do Trabalho

O desenvolvimento de revestimentos para reduzir o teor de formaldeído no ar interior permite ao Grupo CIN desenvolver e disponibilizar aos seus clientes um produto inovador no controlo da qualidade do ar interior e essencial para solucionar os problemas de saúde pública resultantes da exposição ao formaldeído.

1.4 Organização da Tese

A tese está organizada em seis capítulos. No primeiro capítulo o projeto é enquadrado e apresentado, tal como a empresa, sendo ainda referidos os contributos deste projeto para esta e para os seus clientes. O estado da arte associado a este projeto é apresentado no capítulo dois, onde são reportados alguns captadores de formaldeído e noções sobre tintas. No capítulo 3 é apresentada a descrição técnica de todo o procedimento levado a cabo no decorrer deste projeto. No capítulo 4 são apresentados e discutidos os resultados obtidos. Por

fim, são apresentadas as conclusões (capítulo 5), a avaliação do trabalho realizado (capítulo 6), as referências bibliográficas e os anexos que complementam este projeto.

2 Estado da Arte

Esta secção está dividida em três subsecções. Os fatores e/ou poluentes que afetam a qualidade do ar interior são descritos na primeira subsecção, tal como os valores de concentração máxima para estes, de acordo com a legislação. Na segunda subsecção são apresentados captadores de formaldeído: naturais e químicos. A definição e a constituição de uma tinta são descritas na terceira e última subsecção.

2.1 Qualidade do ar interior

A qualidade do ar interior refere-se às características físicas, químicas e biológicas do ar em ambientes interiores. Os fatores que afetam diretamente a qualidade do ar interior são as fontes de poluição interior, os comportamentos e atividades dos utilizadores dos edifícios, os sistemas de ventilação, aquecimento e ar condicionado e as fontes de poluição exterior. [5].

Os poluentes do ar interior podem ser de origem química, física ou biológica [5]. A Portaria n.º 353-A/2013 de 4 de dezembro determina os limiares de proteção para os poluentes do ar interior dos edifícios (Tabela 2.1) [6].

Tabela 2.1 - Fontes de emissão e limiares de proteção para os poluentes do ar interior [5, 6]

Poluente	Fonte de emissão	Limiar de proteção
Dióxido de carbono	Número de ocupantes, queima de combustíveis	2250 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
Monóxido de carbono	Emissões de veículos (garagens, entradas de ar), combustão, fumo do tabaco	10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
Formaldeído	Placas de madeira maciça, isolamentos, carpete, mobiliário, fumo de tabaco	100 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
Partículas em suspensão	Fumo, entradas de ar, papel, isolamento de tubagens, resíduos de água, carpetes, filtros de AVAC, limpezas	PM ₁₀ : 50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ PM _{2,5} : 25 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
Compostos orgânicos voláteis	Fotocopiadoras e impressoras, computadores, carpetes, mobiliário, produtos de limpeza, fumo, tintas, adesivos, perfumes, lacas, solventes	600 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

Segundo o Decreto-Lei nº 118/2013 de 20 de Agosto, considera-se da maior relevância a manutenção dos valores mínimos de caudal de ar novo por espaço e dos limiares de proteção para as concentrações de poluentes do ar interior para salvaguardar os níveis de proteção de saúde e de bem-estar dos ocupantes dos edifícios. Assim, é necessário proceder-se ao controlo das fontes de poluição e adotar medidas preventivas, tanto ao nível da conceção dos edifícios, como do seu funcionamento, de forma a cumprir os requisitos legais para a redução de possíveis riscos para a saúde pública [7].

2.2 Formaldeído

O formaldeído é o aldeído alifático mais simples, sendo também conhecido por aldeído fórmico, formol, formalina, óxido de metileno e metanal (metanal é o nome IUPAC) [8].

Em condições de pressão e temperatura normais, o formaldeído encontra-se no estado gasoso, sendo um gás incolor que apresenta uma elevada volatilidade, devido à sua grande pressão de vapor, e uma elevada reatividade resultante da existência de uma ligação dupla entre o átomo de carbono e o átomo de oxigénio (Figura 2.1) [9].

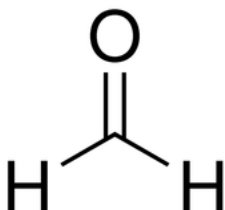


Figura 2.1 - Fórmula estrutural do formaldeído

Este aldeído tem um odor forte, irritante e característico mesmo em concentrações reduzidas, sendo solúvel em água, álcool etílico, éter dietílico, clorofórmio e miscível em acetona e benzeno [8, 9].

Na Tabela 2.2 estão descritas as propriedades físico-químicas do formaldeído [8, 10].

Tabela 2.2 - Propriedades físico-químicas do formaldeído [8, 10]

Número CAS	50-00-0	Ponto de fusão	- 92 °C
Fórmula molecular	CHOH ou CH ₂ O	Ponto de ebulição	- 21 °C
Peso molecular	30,03 g·mol ⁻¹	Pressão de vapor	516 kPa
Densidade relativa	1,03 - 1,07	Solubilidade em água	40 g·l ⁻¹ (20 °C)

O formaldeído tem vindo a ser produzido industrialmente desde 1889 através da oxidação catalítica do metanol. É um composto utilizado em diversas áreas devido à sua elevada reatividade, poder bactericida, baixo custo económico e à ausência de coloração. Estas características colocam o formaldeído entre os 25 produtos químicos mais produzidos, sendo aplicado em diversas áreas, nomeadamente na indústria da madeira, têxtil, borracha, construção civil e agricultura [9].

O formaldeído está presente no interior dos edifícios devido à existência de fontes de emissão interiores e exteriores. As reações fotoquímicas entre os radicais hidroxilo e o metano, os gases de escape emitidos pelos veículos motorizados e outros gases emitidos por processos de combustão compreendem as fontes de emissão exteriores. Os produtos de derivados da madeira, os produtos de limpeza e ambientadores, o fumo do tabaco, a confeção de produtos alimentares, os vapores emitidos pelos vernizes, tintas, alcatifas, tecidos e carpetes, as espumas de isolamento e os equipamentos elétricos, são exemplos de fontes de emissão interior de formaldeído [5, 11].

A exposição prolongada e repetida a concentrações superiores a 0,1 ppm de formaldeído pode provocar alterações neurocomportamentais, náuseas, vômitos, vertigens, fadiga, dores de cabeça, irritação das mucosas oculares e das vias respiratórias, dificuldade em respirar (pieira e tosse), reações asmáticas, problemas de memória e de concentração [12].

Em 1987, a *U. S. Environmental Protection Agency* (EPA) classificou o formaldeído como um cancerígeno humano provável para exposições prolongadas e em concentrações elevadas. Em 2006, a *International Agency for Research on Cancer* (IARC) classificou-o como um cancerígeno humano (Grupo 1) atendendo às fortes evidências de que o formaldeído causa cancro da nasofaringe, não existindo ainda resultados suficientes para provar que este aldeído será responsável por casos de leucemia e cancro sinonasal [13].

Têm sido efetuadas diversas abordagens para diminuir a concentração de formaldeído no ar interior através da incorporação de compostos de origem natural e/ou química que apresentam a capacidade de captar o formaldeído. Estes compostos são denominados como captadores de formaldeído.

A indústria das tintas tem também demonstrado preocupação com as emissões de compostos orgânicos voláteis (COV's). O Decreto-Lei 181/2006 de 6 de Setembro limita a emissão de COV's durante a aplicação e secagem de tintas e vernizes e transpõe a Diretiva 2004/42/CE de 21 de Abril. Esta legislação abrange 12 categorias de produtos de tintas decorativas com limites de COV's a cumprir a partir de 2007 e de 2010 [14].

2.2.1 Captadores naturais

Nos últimos anos alguns compostos de origem natural como a pozolana, os taninos e o carvão têm vindo a ser estudados como captadores de formaldeído.

A pozolana é uma mistura homogênea essencialmente constituída por dióxido de silício e óxido de alumínio, sendo o material mais antigo aplicado na construção em conjunto com a cal. A pozolana natural é, em geral, de origem vulcânica apresentando uma estrutura porosa. Kim investigou a emissão de formaldeído através de uma placa de aglomerados de fibra obtidos por via seca (MDF) na presença da pozolana em diferentes percentagens, obtendo-se uma redução de cerca de 50 % de formaldeído na presença de 10 % de pozolana [15].

Os taninos são polifenóis de origem vegetal com capacidade para reduzir a emissão de formaldeído. Boran estudou e comprovou esta capacidade através da adição de diferentes percentagens de solução de taninos a placas de MDF com diferentes percentagens de resina ureia-formaldeído (UF). Na Figura 2.2 está representado o teor de formaldeído em placas de MDF com resina UF sem solução de taninos (MDF com UF) e com solução de taninos (MDF com UF + TS). O teor de formaldeído foi determinado através do método do perforador (EN 120:2002) [16].

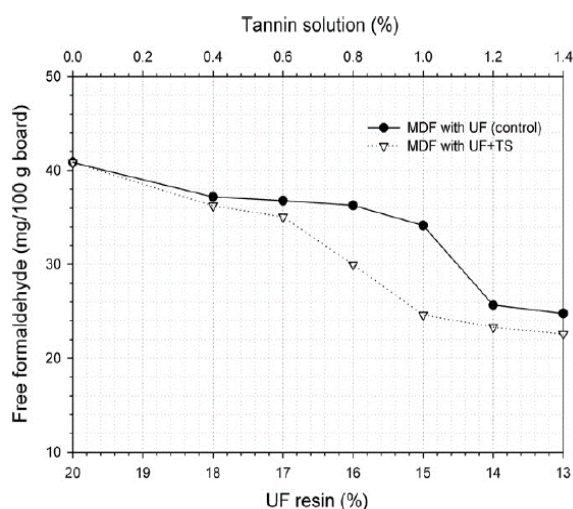


Figura 2.2 - Teor de formaldeído em função da incorporação de várias percentagens de solução de taninos (extraído de [16]).

Verificou-se que a solução de taninos tem a capacidade de reduzir a emissão de formaldeído [16].

Kim estudou ainda a redução de formaldeído através da adição de compostos naturais, como a farinha de trigo (MF-W), a farinha de casca de arroz (MF-R) e o carvão (MF-C), em resinas de melamina-formaldeído (MF), comparando ainda com os taninos em pó (MF-T) (Figura 2.3). A

emissão e o teor de formaldeído foram determinados através do método do exsicador (JIS A 1460:2001) e do perforador (EN 120:2002), respetivamente [17].

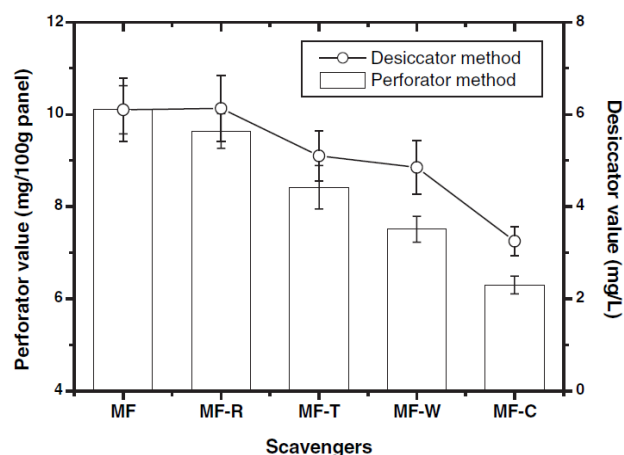


Figura 2.3 - Teor de formaldeído e emissão de formaldeído em função da incorporação de diferentes captadores naturais (extraído de [17])

Verificou-se que a adição de taninos em pó (MF-T), farinha de trigo (MF-W) e carvão (MF-C) reduz consideravelmente a emissão de formaldeído, exceto a farinha de casca de arroz (MF-R). A capacidade de redução de emissão de formaldeído do carvão é maior comparando com a dos restantes compostos naturais devido à sua estrutura porosa [17].

2.2.2 Captadores químicos

Compostos químicos, como o bórax, compostos contendo aminas primárias ou secundárias, ureia, fosfato de amónia monobásico e dibásico, bissulfito de amónia e metabissulfito de sódio, foram estudados como captadores de formaldeído em madeiras.

Özalp estudou e comprovou a redução de formaldeído em função de várias concentrações de bórax pentahidratado ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) adicionadas a derivados de madeira através do método do perforador (EN 120:2002). Esta redução não é muito significativa para pequenas concentrações de bórax, mas para concentrações superiores a 20 % em massa verifica-se uma redução de cerca de 15 % do teor de formaldeído [18].

Boran estudou a capacidade de redução de formaldeído utilizando compostos com aminas primárias e secundárias, e a ureia, em placas de MDF ligadas com resinas UF. A ureia (US), propilamina (PAS), metilamina (MAS), etilamina (EAS) e ciclopentilamina (CPAS) foram incorporadas nas placas onde o teor de formaldeído foi medido através do método do perforador (EN 120:2002) [19].

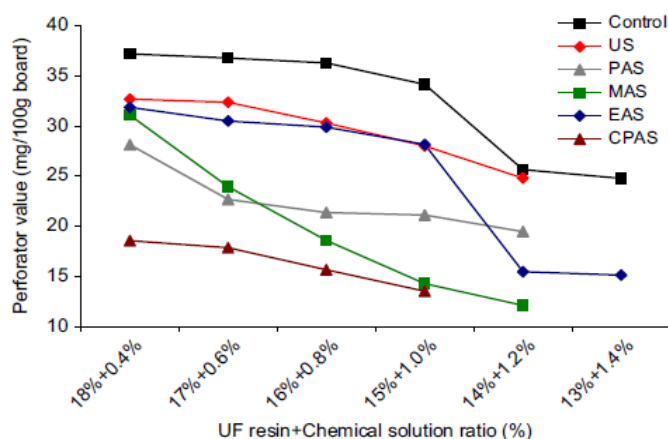
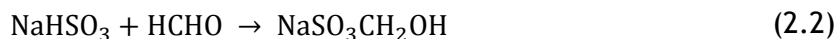


Figura 2.4 - Teor de formaldeído em função da percentagem de resina e captador (extraído de [19])

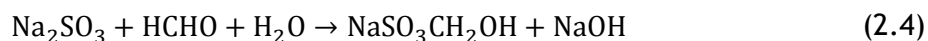
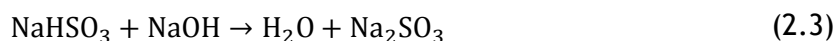
A Figura 2.4 representa o teor de formaldeído nas placas de MDF ligadas com resina UF em função da percentagem de resina e de captador. O controlo do ensaio foi realizado com placa de MDF ligada com resina UF sem captador incorporado. Verifica-se que a ureia (US) apresenta o pior desempenho como composto captador de formaldeído, enquanto a ciclopentilamina (CPAS) apresenta o melhor desempenho devido à sua estrutura cíclica [19].

A ureia é o composto mais utilizado para redução do teor de formaldeído na indústria da madeira e têxtil devido ao seu baixo preço, no entanto apresenta uma desvantagem, uma vez que, por hidrólise, há reemissão de formaldeído [20].

O metabissulfito de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) é um composto inorgânico que, reagindo com a água, produz bissulfito de sódio (NaHSO_3) (Eq. (2.1)). Por sua vez, o bissulfito de sódio reage com o formaldeído (CHOH) produzindo aducto de bissulfito de sódio-formaldeído ($\text{NaSO}_3\text{CH}_2\text{OH}$) (Eq. (2.2)) [21].

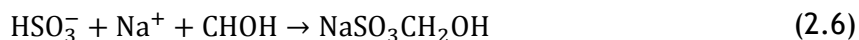


O bissulfito de sódio (NaHSO_3) pode atuar como captador de formaldeído quando neutralizado com hidróxido de sódio (NaOH) produzindo sulfito de sódio (Na_2SO_3) (Eq. (2.3)). Este sulfito reage com o formaldeído produzindo aducto de bissulfito de sódio-formaldeído ($\text{NaSO}_3\text{CH}_2\text{OH}$) e hidróxido de sódio (Eq. (2.4)) [21].

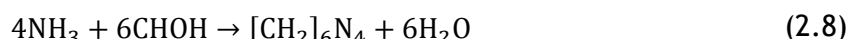


O bissulfito de amónia (NH_4HSO_3) pode atuar como captador de formaldeído, quando aplicado em derivados de madeira, devido à reação entre o ião amónio (NH_4^+) e o ião sódio (Na^+)

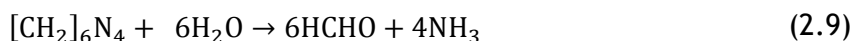
existente nas resinas formando um aducto de bissulfito de sódio-formaldeído ($\text{NaSO}_3\text{CH}_2\text{OH}$) (Eq. (2.5) e (2.6) [21].



No entanto, este captador apresenta a desvantagem de produzir amoníaco (NH_3), que reagindo com o formaldeído, produz a hexamina ($[\text{CH}_2]_6\text{N}_4$) (Eq. (2.7) e (2.8) [21].



Em ambientes húmidos e com temperatura elevada, a hexamina decompõe-se emitindo formaldeído (Eq. (2.9) [21].



Costa estudou a capacidade de captação de formaldeído dos três captadores referenciados anteriormente e da ureia através da incorporação destes em aglomerados de partículas de madeira com resina UF. Inicialmente concluiu que o metabissulfito de sódio no estado sólido apresenta uma maior capacidade de captação de formaldeído em relação ao bissulfito de sódio em solução e neutralizado com hidróxido de sódio. Posteriormente demonstrou que o metabissulfito de sódio (SMBS) é melhor captador quando comparado com a ureia (urea) e o bissulfito de amónia (ABS) (Figura 2.5) [21].

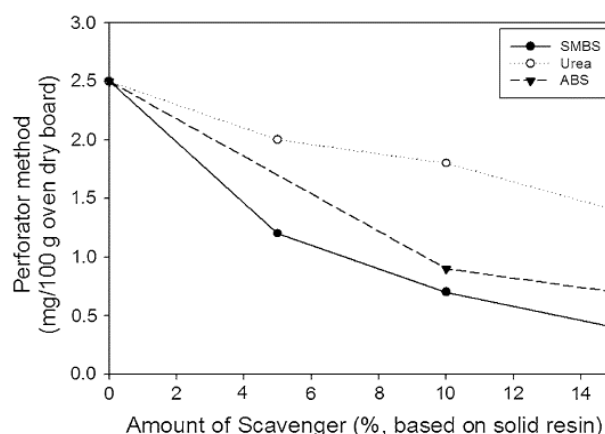


Figura 2.5 - Comparação do teor de formaldeído em função da quantidade de captador para três captadores (extraído de [21])

Para além da ureia, na indústria têxtil há a utilização de captadores como etilenoglicol, propilenoglicol, succinimida, acetoacetamida, acetonitrila, glicerina, hidróxido de amónia e acetamida, com o objetivo de eliminar o formaldeído libertado pelos agentes de reticulação [22].

2.3 Tintas

Segundo a NP 41:1982, tinta é uma composição pigmentada líquida, pastosa ou sólida que, quando aplicada em camada fina sobre uma superfície apropriada, no estado em que é fornecida ou após diluição, dispersão em produtos voláteis ou fusão, é convertível ao fim de um certo tempo, numa película sólida, contínua, corada e opaca.

As tintas são aplicadas em substratos tais como rebocos, betão, gesso, telhados, plásticos, metais, madeira, pavimentos e outros. Têm como objetivo tornar os ambientes mais agradáveis e atrativos, dificultar a aderência de sujidade ou facilitar a sua remoção, melhorar as condições de iluminação dos espaços, criar sinalização rodoviária e de segurança, e proteger os substratos onde são aplicadas [23].

Os constituintes de uma tinta são solvente, aditivos, resina ou veículo fixo, pigmentos e cargas [24].

Os solventes são líquidos voláteis com capacidade de solubilizar ou dispersar o veículo fixo ou a resina sem alterar as suas propriedades químicas. Os veículos voláteis mais utilizados são a água, os hidrocarbonetos (alifáticos e aromáticos) e os solventes oxigenados (álcoois, acetonas, éteres e ésteres) [24].

A resina ou ligante é um material polimérico resultante da reação de polimerização de monómeros. A resina é o constituinte mais importante da tinta, sendo este o responsável pela aglutinação das partículas sólidas e pela formação da película seca, ou seja, pela camada contínua resultante da aplicação da tinta. A resina é, ainda, responsável pela resistência química, resistência mecânica, resistência à intempérie, dureza/flexibilidade, adesão e durabilidade. As resinas alquídicas, resinas acrílicas, vinílicas, epóxicas e de poliuretano são alguns exemplos de resinas aplicadas em tintas [23].

Os pigmentos são substâncias sólidas, brancas ou coloridas, finamente divididas e praticamente insolúveis em água, solventes e ligantes. Este constituinte é responsável por conferir opacidade, cor e influencia características como, brilho, durabilidade, resistência à luz, intempérie e temperatura. As características essenciais de um pigmento são a opacidade, força corante, a facilidade de dispersão e as propriedades anticorrosivas. Os pigmentos podem ser inorgânicos, metálicos e orgânicos [23].

As cargas são substâncias inorgânicas de origem mineral, mais ou menos finas, tendo um baixo poder de cobertura, baixo poder corante e são insolúveis na resina. Por questões económicas, estas são utilizadas para aumentar o teor de sólidos em volume de tinta, e por questões técnicas, são utilizadas para conferir textura, aumentar a permeabilidade, e conferir características como isolamento acústico e/ou térmico, resistência ao fogo e à abrasão, entre

outras. As cargas podem ser divididas em duas categorias: naturais e sintéticas (Tabela 2.3) [23].

Tabela 2.3 - Exemplos de cargas naturais e sintéticas aplicadas em tinta [23]

Cargas	Exemplos
Naturais	Baritas (sulfato de bário natural), calcite (carbonato de cálcio), dolomite (carbonato de cálcio e magnésio), caulinos (silicatos de alumínio), mica (ortossilicato de alumínio e potássio), talcos (silicatos de magnésio hidratados), diatomite, sílica.
Sintéticas	Carbonato de cálcio precipitado, sulfato de bário precipitado, sílicas artificiais, diversos silicatos de alumínio, etc.

Os aditivos são substâncias líquidas, viscosas ou sólidas, com inúmeras finalidades e adicionadas em pequenas quantidades. Estes podem ser usados com objetivos diferentes sendo os mais relevantes melhorar ou facilitar o fabrico, melhorar a aplicabilidade e otimizar propriedades da película seca. Na Tabela 2.4 estão representados alguns aditivos e as suas funções [24, 25].

Tabela 2.4 - Aditivos e respetivas funções quando aplicados em tintas [24, 25]

Aditivo	Função
Bactericida	Impedir o desenvolvimento de bactérias causadoras de putrefação das tintas plásticas em fase líquida (durante o armazenamento).
Fungicida	Impedir o desenvolvimento de fungos e algas na película seca.
Anti-espuma	Diminuir ou evitar a formação de espumas indesejáveis durante o processamento e aplicação dos produtos que podem resultar em defeitos da película.
Espessante	Controlar o comportamento reológico da tinta, melhorando características de aplicação e estabilidade.
Dispersante	Facilitar a dispersão dos pigmentos e cargas no veículo prevenindo a sua aglomeração.
Coalescente	Diminuir a temperatura mínima de formação de película de produtos aquosos.
Molhante	Diminuir a tensão interfacial entre os sólidos (pigmentos e carga) e o veículo.

O fabrico de uma tinta compreende as seguintes etapas: pesagem das matérias-primas, pré-mistura onde temos presente água e aditivos como os dispersantes e espessantes, dispersão e/ou moagem dos pigmentos e cargas, acabamento onde é feita a adição dos restantes aditivos e ligante, filtração e enchimento [25].

Após o fabrico da tinta, é necessário avaliar o seu desempenho através da realização de um conjunto de ensaios normalizados onde são avaliadas características tendo em conta a sua finalidade, a natureza do suporte onde vai ser aplicado, o método de aplicação e o ambiente onde vai ser exposto [25].

3 Descrição Técnica

Esta seção encontra-se dividida em três partes referentes à composição das tintas formuladas, aos métodos utilizados para a quantificação da captação de formaldeído e aos ensaios de caracterização simplificada e exaustiva.

3.1 Composição das tintas

Nesta subsecção encontra-se descrita a tinta selecionada para incorporação de captadores de formaldeído, a descrição destes e as tintas formuladas para cada captador.

Atendendo que o objetivo deste trabalho corresponde à melhoria da qualidade do ar interior através da captação de formaldeído livre, inicialmente procedeu-se à escolha do tipo de tinta com o melhor desempenho e com baixo nível de emissão de substâncias poluentes para incorporar captadores de formaldeído.

De entre as várias tintas produzidas pela CIN, foi escolhida uma tinta aquosa de elevada qualidade, formulada à base de dispersão vinílica, destinada à pintura de paredes em interior. Apresenta uma elevada resistência ao desenvolvimento de fungos e obteve a classificação A+ “Qualidade do ar interior” cumprindo, assim, todos os critérios estabelecidos pela Legislação Francesa no regulamento de 19 de Abril de 2011 relativo à etiquetagem dos produtos de construção ou de revestimento de paredes e pavimentos e das tintas e vernizes e sobre as suas emissões de poluentes voláteis.

No decorrer desta dissertação foram selecionados e estudados três captadores de formaldeído que serão descritos seguidamente: resina A, resina B e aditivo X.

Resina A

A resina A é uma dispersão acrílica com capacidade de melhorar a qualidade do ar interior através da captação do formaldeído livre. Segundo o fornecedor desta resina, esta contém um grupo químico que capta o formaldeído livre do ar interior transformando-o, irreversivelmente, em água, podendo esta capacidade de abatimento durar entre dois a três anos.

Resina B

A resina B é uma dispersão estireno-acrílica que contribui para a redução do formaldeído livre no ar. Como a Resina A, o abatimento de formaldeído ocorre de forma irreversível.

Aditivo X

Por razões de confidencialidade, este captador de formaldeído não poderá ser descrito.

Para proceder à formulação das tintas atendeu-se à proporção entre pigmento e ligante, atendendo que este parâmetro tem grande influência nas características do produto final e pretendeu-se estudar a influência deste na captação de formaldeído. Esta proporção é expressa através da concentração de pigmento em volume (*CPV*) [25].

O *CPV* corresponde ao quociente entre o volume de pigmentos ($Volume_{pigmentos}$) e cargas ($Volume_{cargas}$) e o volume de pigmentos, cargas e resina ($Volume_{resina}$) [25]:

$$CPV (\%) = \frac{Volume_{pigmentos} + Volume_{cargas}}{Volume_{pigmentos} + Volume_{cargas} + Volume_{resina}} \times 100 \% \quad (3.1)$$

O valor de *CPV* que corresponde à quantidade exata de ligante necessária para preencher os espaços livres existentes entre as partículas de pigmento é designado como concentração crítica de pigmento em volume (*CCPV*) [25].

Para valores de *CPV* acima do *CCPV*, a quantidade de ligante não é suficiente para recobrir todas as partículas de pigmento formando, assim, um filme mais poroso. Enquanto para valores de *CPV* abaixo do *CCPV*, a quantidade de ligante é superior à necessária para recobrir todas as partículas de pigmento formando um filme menos poroso [25].

As resinas captadoras de formaldeído foram incorporadas na tinta comercial selecionada (tinta de referência) através da substituição em percentagem de sólidos da resina desta.

Inicialmente, para as resinas captadoras de formaldeído, resina A e B, foram formuladas duas tintas com *CPV* próximo da tinta de referência. Posteriormente, através da alteração da percentagem de resina e cargas, fez-se variar o *CPV*, mantendo o *CCPV*.

Na Tabela 3.1 estão apresentadas as tintas produzidas com resinas captadoras incorporadas e as respetivas características.

Tabela 3.1 - Propriedades das tintas com a resina A e B

Tinta	Percentagem de resina (% sólidos)	CPV (%)	CCPV (%)
Referência	12,0	62,9	57,7
Tinta com resina A	11,9	62,6	57,7
	9,5	70,1	57,2
	14,9	54,4	57,5
Tinta com resina B	12,2	64,5	57,7
	10,1	70,7	57,2
	15,3	55,4	57,4

De forma a estudar a influência do modo de incorporação na captação de formaldeído, o aditivo X sólido foi incorporado de dois modos: na fase de pós-adição na tinta de referência e na fase de dispersão com CPVs diferentes, mantendo o CCPV.

Em ambos os modos de incorporação de aditivo X, a quantidade incorporada corresponde a 2 gramas de aditivo X por 100 gramas de tinta, tendo sido determinada como demonstrado no Anexo 1. Na Tabela 3.2 estão apresentadas as tintas produzidas com aditivo X incorporado e as respetivas propriedades.

Tabela 3.2 - Propriedades das tintas com aditivo X

Tinta	Percentagem de captador (% m/m)	CPV (%)	CCPV (%)
Referência	0	62,9	57,7
Tinta de referência com pós-adição de aditivo X	2,0	62,9	57,7
Tinta com aditivo X incorporado em fase de dispersão	2,0	61,7	58,0
	2,0	68,9	57,1
	2,0	52,8	57,5

Foi também incorporado o aditivo X na fase de pós-adição e na fase de dispersão da tinta com a resina A com 62,6 % CPV.

3.2 Quantificação da captação de formaldeído

As normas ISO 16000-23:2009 e JCT-1074:2008 especificam dois métodos que quantificam a captação de formaldeído a partir de tinta.

A norma ISO 16000-23:2009 descreve um método que consiste na monitorização da redução da concentração de formaldeído no interior de uma câmara contaminada com uma corrente gasosa de formaldeído que contém o produto captador a testar. A norma JCT-1074:2008 obriga à injeção de um determinado volume de formaldeído no interior de uma câmara que contém o material a testar.

Uma vez que não foi possível a implementação, em tempo útil, das normas anteriormente referidas foram adaptados dois métodos de ensaio para a determinação de emissões de formaldeído em painéis derivados de madeira: método de análise de gás (EN 717-2:1994) e o método do exsicador (JIS A 1460:2001) [29].

Os ensaios de captação de formaldeído foram realizados no Laboratório de Emissões de Formaldeído e de Derivados de Madeira do Departamento de Madeiras, na Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu (Instituto Politécnico de Viseu).

3.2.1 Método de análise de gás [26]

O método de análise de gás (EN 717-2:1994) permitiu a determinação da captação de formaldeído através da utilização de uma câmara fechada com 4 l de volume, onde a temperatura, pressão, humidade e caudal de ar são controlados (Figura 3.1).

Para cada tinta, efetuaram-se ensaios em duas câmaras, câmara 1 e 2: uma com a fonte emissora de formaldeído (provete de MDF) e com a tinta a ensaiar e outra apenas com a fonte emissora de formaldeído. O formaldeído não captado pela tinta foi emitido para o ar que era continuamente extraído da câmara para frascos de lavagem de gás. Os ensaios foram efetuados a elevadas temperaturas de forma a libertação de formaldeído permitindo, assim, obter resultados em tempo útil.

Os ensaios decorreram ao longo de 4 horas e a concentração de formaldeído no ar foi determinada através de espectroscopia de absorção ao longo do tempo. As condições de operação e o procedimento detalhado deste método estão apresentados no Anexo 2.



Figura 3.1 - Método de análise de gás - fotografia da instalação para aplicação do método

3.2.2 Método do exsicador [26]

O método do exsicador (JIS A 1460:2001) permitiu a determinação da captação de formaldeído através da utilização de um exsicador hermeticamente fechado com 6 l de volume contendo a película de tinta a ensaiar e a fonte de formaldeído (10 µl de solução formaldeído a 37 %) (Figura 3.2). Os ensaios decorreram durante 24 horas e o formaldeído não captado pela tinta foi absorvido pela água destilada contida no cristalizador existente no fundo do exsicador, tendo sido determinada a sua concentração na água destilada por espectroscopia utilizando o método de acetilacetona. Neste método existe competição de captação de formaldeído entre a película de tinta e a água contida no cristalizador. As condições de operação e o procedimento detalhado deste método estão apresentados no Anexo 3. Todos os ensaios foram efetuados em duplicado.



Figura 3.2 - Método do exsicador - fotografia do exsicador com uma amostra de película tinta no seu interior.

3.3 Caracterização da tinta

Todas as tintas formuladas foram submetidas a uma caracterização básica segundo normas internas (NCIN), nacionais (NP) e/ou internacionais (ISO), tendo sido determinados os seguintes parâmetros: massa volúmica expressa em $\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ (grama por mililitro), segundo a norma NCIN 023; pH segundo a norma NCIN 006; viscosidade stormer expressa em UK (unidades de Krebs), segundo a norma NCIN 124; viscosidade cone e prato expressa em P (poise), segundo a norma NCIN 028; razão de contraste ou opacidade seca expressa em % (percentagem), segundo a norma NCIN 103; opacidade húmida expressa em %, segundo a norma NCIN 169; índice de brancura e de amarelecimento expressos em %, segundo a norma NCIN 086 e brilho expresso em unidades de brilho, segundo a norma NP EN ISO 2813:2001.

As tintas com maior capacidade de captação de formaldeído foram submetidas a ensaios de caracterização mais exaustivos tendo sido avaliadas as seguintes características: estabilidade acelerada, temperatura mínima de formação de película, resistência à fissuração para espessuras elevadas, resistência à amónia e água líquida, resistência aos álcalis dos ligantes hidráulicos, resistência ao polimento em húmido e seco, resistência ao manchamento (nódoa), resistência à captação de sujidade, resistência à esfrega húmida, resistência à esfrega húmida e lavabilidade, e aplicação prática em gesso cartonado.

3.3.1 Estabilidade acelerada

De acordo com a norma NCIN 062, a tinta foi armazenada em recipiente fechado, durante 30 dias, numa estufa à temperatura de 50 °C de forma a avaliar a sua estabilidade quando sujeita a armazenamento prolongado. Após 15 e 30 dias, procedeu-se à avaliação do seu comportamento no que se refere a eventuais alterações de aspeto físico, viscosidade e os índices de brancura e amarelecimento.

3.3.2 Temperatura mínima de formação de película

A temperatura mínima de formação de película (TMFP) corresponde à temperatura acima da qual se forma uma película homogénea sem fissuração. O método aplicado seguiu a norma ISO 2115:1996 numa gama de temperatura de - 5 °C a 13 °C.

3.3.3 Resistência à fissuração de uma tinta para espessuras elevadas

A resistência à fissuração de uma tinta para espessuras elevadas foi determinada seguindo a norma NCIN 110. A tinta foi aplicada num bloco *Meier*, em forma de cunha, e após 24 horas de secagem à temperatura ambiente observou-se o início do aparecimento de fissuração na película. Segundo a NP 4378:1999, o requisito mínimo exigido é a não existência de fissuração para uma espessura seca inferior a 200 μm .

3.3.4 Resistência à amónia e água líquida

As resistências da película de tinta à sua degradação por contacto com a amónia e água líquida foram obtidas segundo as normas NCIN 065 e NCIN 067, respetivamente.

A tinta foi aplicada numa placa de vidro e após 7 dias de secagem à temperatura de 23 °C, classificou-se o comportamento da película de acordo com o aparecimento de empolamento ou enrugamento num determinado tempo (entre 1 a 10 minutos) e capacidade desta em recuperar o seu aspeto inicial. A resistência foi classificada de 0 a 10 correspondendo ao tempo em que é visível a formação de empolamento ou enrugamento da película, tendo sido atribuído às películas que tenham apresentado a capacidade de recuperar o seu aspeto inicial durante 24 horas a letra R e às películas classificadas com o valor de 10 e tenham apresentado amolecimento a letra S.

3.3.5 Resistência aos álcalis dos ligantes hidráulicos

A resistência da película seca de tinta à ação dos álcalis dos ligantes hidráulicos foi determinada de acordo com a norma NCIN 066. Por razões de confidencialidade, o método de determinação não poderá ser descrito.

3.3.6 Resistências ao polimento em húmido e seco da película de tinta

As resistências ao polimento em húmido e seco foram obtidas atendendo às normas NCIN 111 e NCIN 112, respetivamente. Estas normas indicam um tempo de secagem de 28 dias, no entanto recorreu-se ao envelhecimento acelerado em estufa a 50 °C, após 7 dias de secagem a 23 °C.

A película foi sujeita ao polimento com uma compressa de gaze com uma pressão e peso controlados durante um número de ciclos pré-determinado. Foi efetuado ensaio a seco e com uma solução de *teepol*, de forma a analisar a resistência ao polimento seco e húmido, respetivamente.

A resistência foi avaliada de acordo com o aumento das unidades de brilho, sendo este um valor numérico que está indexado à resistência da película de tinta à variação do brilho quando sujeita a uma ação de polimento.

3.3.7 Resistência ao manchamento (nódoa) da película de tinta

A determinação da resistência ao manchamento (nódoa) da película de tinta foi realizada segundo a norma NCIN 115. Esta norma indica um tempo de secagem de 28 dias, no entanto recorreu-se ao envelhecimento acelerado em estufa a 50 °C, após 7 dias de secagem a 23 °C.

As nódoas (café, vinho tinto, azeite, mostarda, ketchup, batom, sumo de laranja, graxa, creme de mãos, lápis de cera, lápis de cor, lápis, caneta e marcador) foram aplicadas na película de tinta durante 10 minutos e avaliadas segundo uma escala de 0 (sem alteração) a 2 (alteração muito profunda) após remoção e/ou limpeza com solução de *teepol*.

3.3.8 Resistência de uma película de tinta à captação de sujidade

A determinação da resistência de película de tinta à captação de sujidade foi efetuada seguindo a norma NCIN 068 sendo medida, após 7 dias de secagem, a diferença de cor (ΔE) entre a película de tinta que esteve em contacto com cinzas orgânicas e a que não esteve em contacto com estas. Esta diferença de cor é medida após a remoção das cinzas e após lavagem com água da película em contacto.

3.3.9 Resistência à esfrega húmida

A resistência à esfrega húmida foi determinada segundo a norma NP 4378:1999. Esta norma indica um tempo de secagem de 28 dias, no entanto recorreu-se ao envelhecimento acelerado em estufa a 50 °C, após 7 dias de secagem a 23 °C.

A película de tinta foi submetida a 5000 ciclos de esfrega e classificada como resistente à lavagem (resiste a 1000 ciclos) ou à esfrega (resiste a 5000 ciclos).

3.3.10 Resistência à esfrega húmida e lavabilidade

A determinação da resistência à esfrega húmida e lavabilidade seguiu a norma ISO 11998:2006. Esta norma indica um tempo de secagem de 28 dias, no entanto recorreu-se ao envelhecimento acelerado em estufa a 50 °C, após 7 dias de secagem a 23 °C.

A película foi sujeita a 200 ciclos de esfrega e foi determinada a perda de massa ao longo do ensaio. A tinta é classificada por classes segundo a NP EN 1330:2004 de acordo com a espessura perdida.

3.3.11 Aplicação prática em gesso cartonado

A aplicação prática em gesso cartonado seguiu a norma NCIN 078 tendo sido avaliadas a facilidade de aplicação, a opacidade seca, o espalhamento, a emenda e o aspeto final.

4 Resultados e discussão

Esta secção está dividida em quatro partes. Na primeira parte, a quantificação da captação de formaldeído obtida através dos dois métodos considerados é apresentada e discutida. A caracterização das tintas é descrita na segunda parte. Por fim, são apresentadas a avaliação económica e uma simulação de captação de formaldeído.

As tintas em estudo serão identificadas pelo captador incorporado, pelo valor de *CPV* que apresenta e, no caso do aditivo X, pela fase de incorporação. Por exemplo, a tinta com a resina A com 62,6 % de *CPV* será identificada como “Resina A (62,6 % *CPV*) ”.

4.1 Quantificação da captação de formaldeído

4.1.1 Método de análise de gás

A tinta de referência e as tintas com a resina A descritas na Tabela 3.1 foram submetidas a ensaios de captação de formaldeído através do método de análise de gás.

Neste método, a primeira hora de ensaio foi desprezada para efeitos de cálculos e/ou análise de captação, segundo a norma EN 717-2:1994, uma vez que durante a primeira hora, com a abertura das câmaras para colocação dos materiais a ensaiar, a temperatura no interior destas não atinge imediatamente a temperatura de operação (60 °C).

Na Figura 4.1 estão representadas a massa de formaldeído libertada pela fonte e não captada pela película da tinta Resina A (62,6 % *CPV*) e a massa de formaldeído libertada apenas pela fonte.

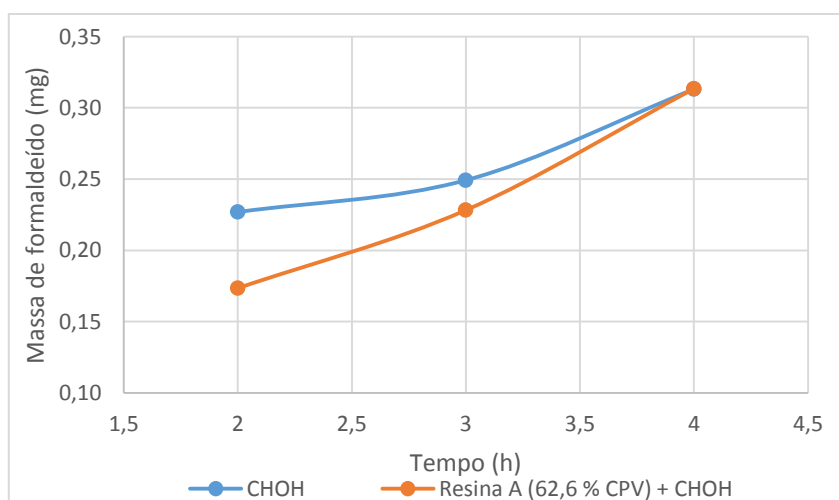


Figura 4.1 - Captação de formaldeído pela tinta “Resina A - 62,6 % CPV” caracterizada utilizando o método de análise de gás.

Analisando a Figura 4.1 verifica-se que, ao longo das 4 horas de ensaio, a película de tinta capta o formaldeído emitido pelo provete de madeira, pois a massa de formaldeído emitida na câmara com a película da tinta é inferior à massa de formaldeído emitida na câmara apenas com a fonte. Para além disso, verifica-se que, ao longo do tempo, a captação de formaldeído vai diminuindo mostrando, assim, que a capacidade de captação da tinta está a diminuir atingindo o ponto de saturação.

Atendendo que, os resultados apresentados anteriormente foram obtidos utilizando uma área de provete de madeira de 200 cm² como fonte emissora de formaldeído, procedeu-se à redução de metade da área deste, mantendo a área de película de tinta (200 cm²) para evitar a saturação desta.

No entanto, não foram obtidos resultados concordantes para as tintas submetidas a ensaio. Este facto poderá estar relacionado com a impossibilidade de garantir uma emissão constante e idêntica de formaldeído a partir dos provetes de madeira e com o volume da câmara de gás não ser suficiente para que toda a área da película de tinta e do provete de madeira estejam disponíveis para captar e emitir formaldeído, respetivamente.

Posto isto, este método não foi considerado para a quantificação da captação de formaldeído.

4.1.2 Método do exsicador

As tintas com os três captadores em estudo foram submetidas ao método do exsicador, tendo sido determinada a fração de captação (*Fração de captação_{CHOH}*) através da Eq. (4.1) e a taxa de remoção (*Taxa de remoção_{CHOH}*) através da Eq. (4.2), sendo *m_{CHOH captada}* a massa de formaldeído captada pela película de tinta, *m_{CHOH inicial}* a massa de formaldeído colocada no exsicador (4,11 mg), *A_{tinta}* a área da película de tinta (0,2 m²) e *t* a duração do ensaio (1 dia).

$$\text{Fração de captação}_{CHOH} (\%) = \frac{m_{CHOH \text{ captada}} (mg)}{m_{CHOH \text{ inicial}} (mg)} \times 100 (\%) \quad (4.1)$$

$$\text{Taxa de remoção}_{CHOH} (mg \text{ CHOH} \cdot m^{-2} \text{ tinta} \cdot dia^{-1}) = \frac{m_{CHOH \text{ captada}} (mg)}{A_{tinta} (m^2) \times t (dia)} \quad (4.2)$$

A massa de formaldeído captada foi determinada através de balanço de massa (Eq. (4.3)), sendo *m_{CHOH não captada}* a massa de formaldeído absorvida pela água, que não foi captada pela tinta. Esta massa foi determinada através da leitura da absorvância da água recolhida dos exsicadores (Anexo 4).

$$m_{\text{CHOH inicial}}(mg) = m_{\text{CHOH captada}}(mg) + m_{\text{CHOH não captada}}(mg) \quad (4.3)$$

Na Tabela 4.1 estão representadas a fração de captação e a taxa de remoção de formaldeído para as tintas com a resina A. As películas de tinta submetidas a ensaio apresentavam um tempo de secagem de 5 dias.

Tabela 4.1 - Fração de captação e taxa de remoção de formaldeído para as tintas com a resina A (Tempo de secagem: 5 dias)

Tinta	Fração de captação _{CHOH} (%)	Taxa de remoção _{CHOH} (mg CHOH · m ⁻² tinta · dia ⁻¹)
Resina A (54,4 % CPV)	42,9	88,3
Resina A (62,6 % CPV)	32,3	66,4
Resina A (70,1 % CPV)	24,2	49,9

Analisando os valores apresentados na Tabela anterior verifica-se que a fração de captação e a taxa de remoção de formaldeído decrescem com o aumento de CPV, uma vez que quanto maior o CPV, menor a quantidade de resina captadora de formaldeído. A tinta com maior capacidade de remoção corresponde à tinta com o CPV mais reduzido: Resina A (54,4 % CPV).

Na Tabela 4.2 estão apresentadas a fração de captação e a taxa de remoção de formaldeído para as tintas com a resina B. As películas de tinta submetidas a ensaio apresentavam um tempo de secagem de 5 dias.

Tabela 4.2 - Fração de captação e taxa de remoção de formaldeído para as tintas com a resina B (Tempo de secagem: 5 dias)

Tinta	Fração de captação _{CHOH} (%)	Taxa de remoção _{CHOH} (mg CHOH · m ⁻² tinta · dia ⁻¹)
Resina B (55,4 % CPV)	35,9	73,8
Resina B (64,5 % CPV)	28,9	59,4
Resina B (70,7 % CPV)	24,9	51,3

Tal como nas tintas com a resina A, a fração de captação e a taxa de remoção de formaldeído para as tintas com a resina B são inversamente proporcionais ao CPV. A tinta com maior capacidade de captação de formaldeído corresponde à tinta com o CPV mais reduzido: Resina B (55,4 % CPV).

Na Figura 4.2 e Figura 4.3 estão representadas a fração de captação de formaldeído e a taxa de remoção de formaldeído para as tintas com as duas resinas, respetivamente.

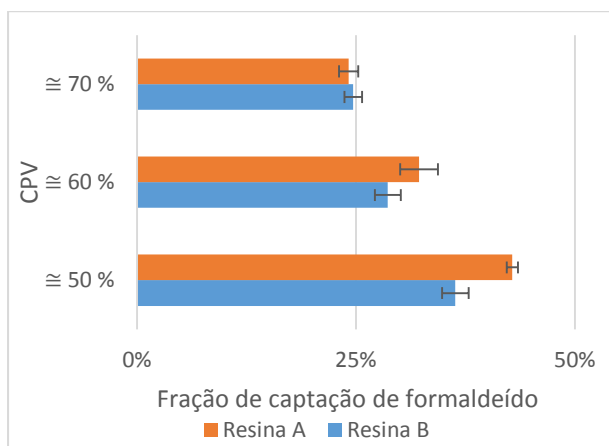


Figura 4.2 - Comparação da fração de captação de formaldeído da resina A e B (tempo de secagem: 5 dias)

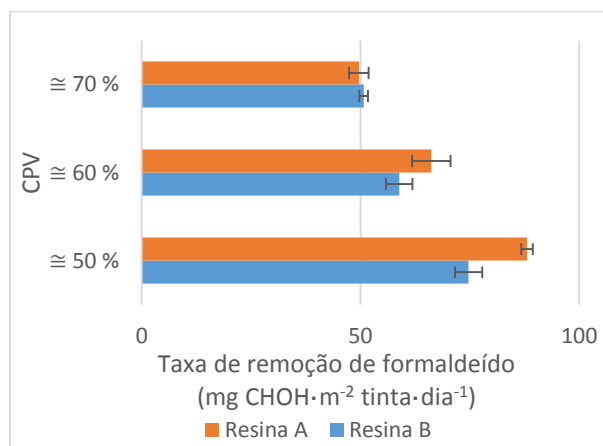


Figura 4.3 - Comparação da taxa de remoção de formaldeído da resina A e B (tempo de secagem: 5 dias)

As tintas com a resina A apresentam uma maior fração de captação e taxa de remoção de formaldeído comparativamente com as tintas com a resina B, excepto para um CPV elevado (aproximadamente 70 %). A tinta Resina A (54,4 % CPV) apresenta a melhor capacidade de remoção deste aldeído.

Na Tabela 4.3 estão apresentadas a fração de captação e a taxa de remoção de formaldeído para as tintas com a resina A com um tempo de secagem de 28 dias.

Tabela 4.3 - Fração de captação e taxa de remoção de formaldeído para as tintas com a Resina A (Tempo de secagem: 28 dias)

Tinta	Fração de captação _{CHOH} (%)	Taxa de remoção _{CHOH} (mg CHOH · m ⁻² tinta · dia ⁻¹)
Resina A (54,4 % CPV)	51,7	106,4
Resina A (62,6 % CPV)	39,3	80,8
Resina A (70,1 % CPV)	29,0	59,8

Tal como obtido com 5 dias de secagem, a Resina A (54,4 % CPV) continua a apresentar a maior capacidade de captação de formaldeído comparativamente aos outros CPVs.

Na Figura 4.4 e Figura 4.5 estão representadas a fração de captação e a taxa de remoção de formaldeído para a tinta com a resina A com diferentes tempos de secagem de película (5 e 28 dias), respetivamente.

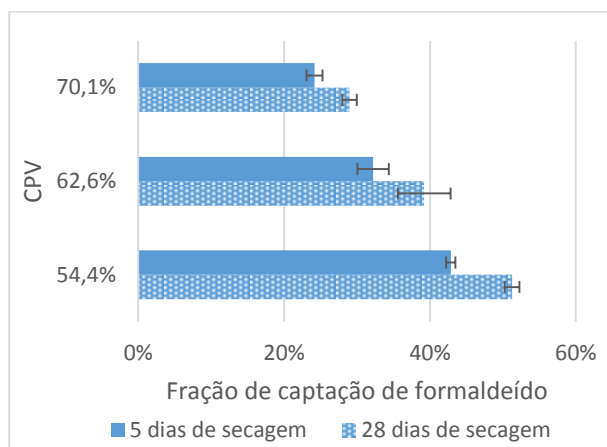


Figura 4.4 - Comparação da fração de captação de formaldeído da resina A para diferentes tempos de secagem da película (5 e 28 dias)

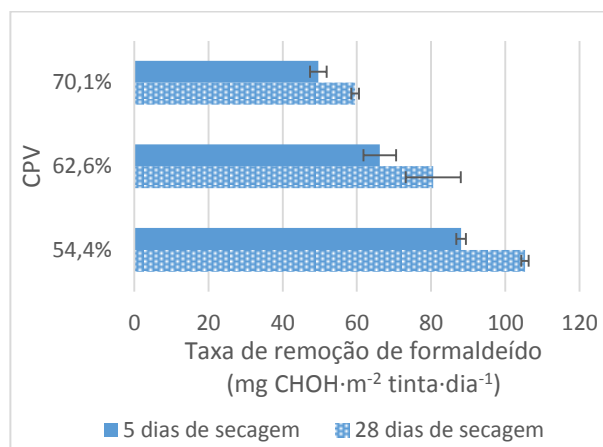


Figura 4.5 - Comparação da taxa de remoção de formaldeído da resina A para diferentes tempos de secagem da película (5 e 28 dias)

Analisando as figuras anteriores, verifica-se que para o tempo de secagem de película de 28 dias há uma maior capacidade de captação de formaldeído livre no interior do exsicador do que para o tempo de secagem de película de 5 dias. Este facto poderá estar relacionado com uma maior estabilização da estrutura da resina para tempos de secagem mais elevados permitindo, assim, uma maior difusão do formaldeído na película de tinta. No entanto não existem dados que suportem esta hipótese.

Não foi possível estudar em tempo útil a captação de formaldeído para a Resina B com um tempo de secagem de 28 dias.

Na Tabela 4.4 estão apresentadas a fração de captação e a taxa de remoção de formaldeído para as tintas com aditivo X incorporado na fase de dispersão (Ad. X - F. Dispersão) e na fase de pós-adição na tinta de referência (Ad. X - Pós-adição). As películas de tinta submetidas a ensaio apresentavam um tempo de secagem de 5 dias.

Tabela 4.4 - Fração de captação e taxa de remoção de formaldeído para as tintas com aditivo X incorporado em fase de dispersão e em pós-adição à tinta de referência (Tempo de secagem: 5 dias)

Tinta	Fração de captação _{CHOH} (%)	Taxa de remoção _{CHOH} (mg CHO _H · m ⁻² tinta · dia ⁻¹)
Ad. X - F. Dispersão (52,8 % CPV)	14,6	30,1
Ad. X - F. Dispersão (61,7 % CPV)	22,5	46,3
Ad. X - F. Dispersão (68,9 % CPV)	29,2	60,0
Ad. X - Pós-adição (62,9 % CPV)	47,6	98,0

Atendendo aos valores apresentados na Tabela anterior verifica-se que quanto maior a percentagem de CPV, maior a capacidade de captação para as tintas com aditivo X incorporado na fase de dispersão. Este aumento da captação poderá estar relacionado com o aumento da porosidade da película de tinta, atendendo a que com o aumento do CPV, a quantidade de resina vai diminuindo e, por sua vez, esta quantidade não é suficiente para preencher os espaços livres existentes entre as partículas de pigmento, facilitando, assim, a difusão de formaldeído na película de tinta.

A tinta com aditivo X incorporado na fase de pós-adição apresentou uma maior capacidade de captação do que as tintas com aditivo X incorporado na fase de dispersão. Esta elevada capacidade de remoção de formaldeído poderá estar relacionada com o facto de as partículas de aditivo X sólido não estarem tão envolvidas pela resina e por isso estarem mais disponíveis para reagir, ao contrário do aditivo X na fase de dispersão.

O aditivo X foi adicionado na fase de dispersão à tinta com a resina A, tendo sido determinada a sua fração de captação e a sua taxa de remoção de formaldeído (Tabela 4.5). A pós-adição de aditivo X à tinta com a resina A não é viável uma vez que resulta num produto de elevada viscosidade, não tendo sido possível quantificar a capacidade de captação de formaldeído.

Tabela 4.5 - Fração de captação e taxa de remoção de formaldeído para a tinta com a resina A e aditivo X incorporado em fase de dispersão (Tempo de secagem: 5 dias)

Tinta	Fração de captação _{CHOH} (%)	Taxa de remoção _{CHOH} (mg CHO _H · m ⁻² tinta · dia ⁻¹)
Resina A (61,8 % CPV) + Ad. X - F. Dispersão	54,9	112,9

A tinta resultante da sinergia da resina A e do aditivo X apresenta os melhores resultados para a captação de formaldeído comparativamente com as tintas com aditivo X e com a resina B, no entanto apresenta um resultado semelhante à tinta com a resina A com 28 dias de tempo de secagem (Figura 4.6 e Figura 4.7).

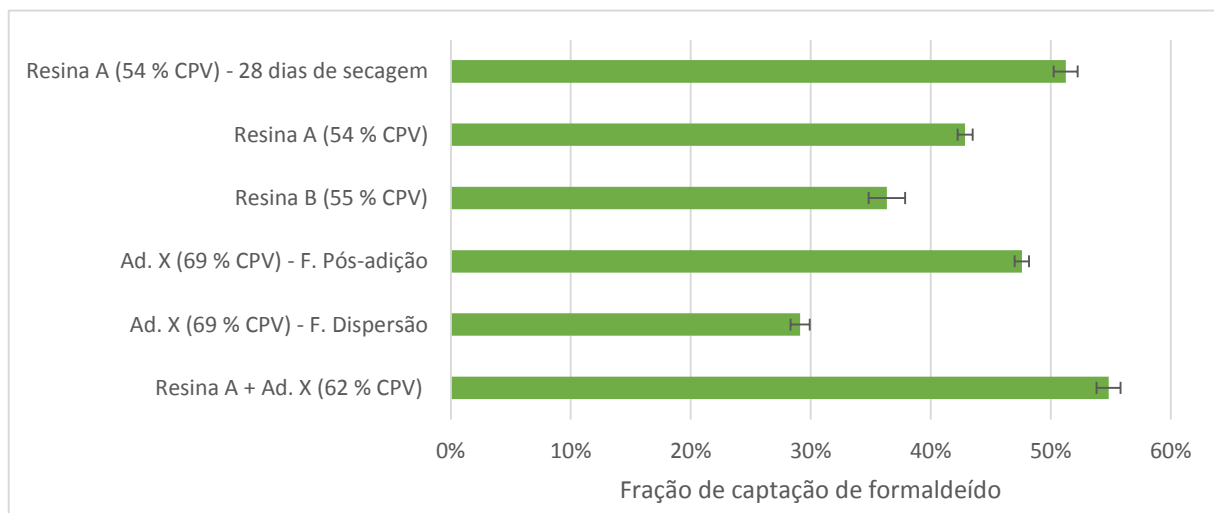


Figura 4.6 - Revestimentos com melhores resultados de fração de captação de formaldeído

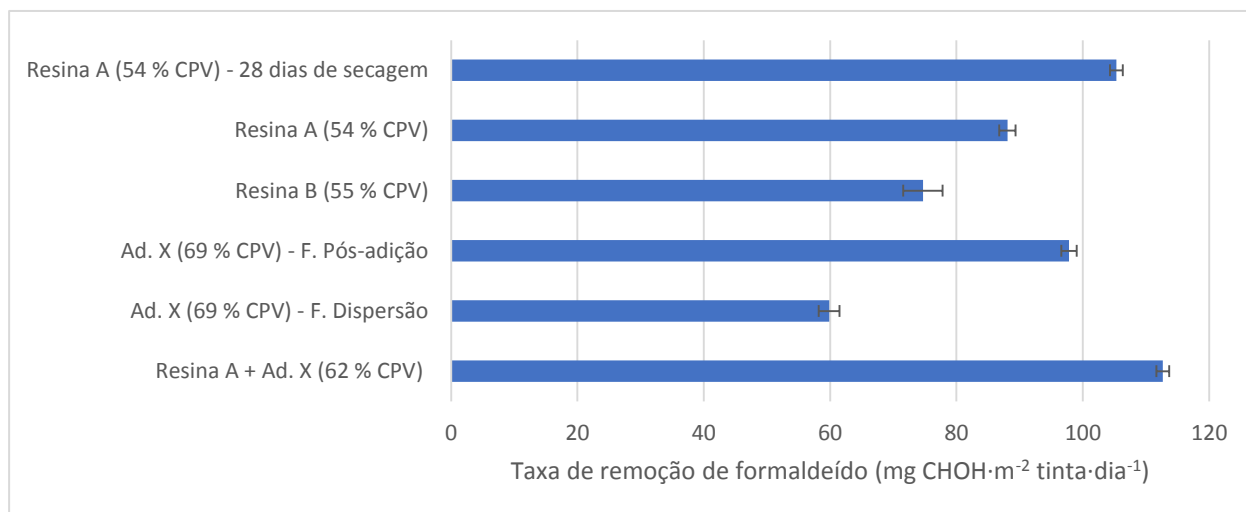


Figura 4.7 - Revestimentos com melhores resultados de taxa de remoção de formaldeído

As películas de tinta com aditivo X, após as 24 horas de ensaio, apresentavam a formação de um líquido (Figura 4.8) que, após secagem à temperatura ambiente, cristalizava formando um sal (Figura 4.9) que poderá corresponder ao produto de reação entre formaldeído e o aditivo X.



Figura 4.8 - Película de tinta com aditivo X após ensaio utilizando o método de exsicador



Figura 4.9 - Sais recolhidos após cristalização do líquido formado na película de tinta após ensaio

4.2 Caracterização da tinta

Como referido anteriormente, todas as tintas foram submetidas a uma caracterização simplificada e as tintas com maior capacidade de captação de formaldeído foram submetidas a ensaios de caracterização mais exaustivos, tendo sido comparadas com a tinta de referência (Tinta REF.).

4.2.1 Caracterização simplificada

Na Tabela 4.6 e Tabela 4.7 estão apresentadas as características para cada tinta produzida sendo as colunas sombreadas correspondentes às tintas com maior capacidade de captação de formaldeído.

Tabela 4.6 - Caracterização simplificada das tintas com a resina A e B

Captador		Não possui	Resina A			Resina B		
Tinta		REF.	A1	A2	A3	B1	B2	B3
CPV (%)		62,9	54,4	62,6	70,1	55,4	64,5	70,7
Massa Volúmica (g·ml ⁻¹)	NCIN 023	1,371	1,358	1,384	1,414	1,335	1,368	1,392
pH	NCIN 006	8,0	8,2	8,4	8,4	9,2	9,2	9,1
Viscosidade stormer (UK)	NCIN 124	108	119	119	118	104	124	139
Viscosidade Cone e Prato (P)	NCIN 028	2,4	1,7	1,7	1,7	1,7	1,9	1,9
Opacidade húmida (%)	NCIN 169	92,9	95,4	94,7	95,1	95,7	95,1	95,8
Opacidade seca (%)	NCIN 103	94,8	92,7	93,7	96,8	91,7	92,2	93,7
Índice de brancura (%)	NCIN 086	83,1	84,5	83,5	83,7	83,3	82,8	83,2
Índice de amarelecimento (%)	NCIN 086	2,6	2,2	2,3	2,7	2,5	2,4	2,5
Brilho 20° / 60° / 85° (unidades de brilho)	NP EN ISO 2813:2001	1,2/2,2/2,5	1,3/2,8/4,5	1,2/2,3/2,7	1,2/2,3/2,6	1,3/2,6/4,3	1,2/2,2/2,5	1,2/2,2/2,2

Tabela 4.7 - Caracterização simplificada das tintas com o aditivo X

Captador		Aditivo X - F. dispersão			Aditivo X - Pós-adição	Resina A + Aditivo X
Tinta		X1	X2	X3	X4	AX
CPV (%)		52,8	61,7	68,9	62,9	61,8
Massa Volúmica (g·ml ⁻¹)	NCIN 023	1,345	1,395	1,408	1,384	1,383
pH	NCIN 006	8,3	8,3	8,2	7,2	8,2
Viscosidade Stormer (UK)	NCIN 124	105	116	104	140	136
Viscosidade Cone e Prato (P)	NCIN 028	1,3	1,3	1,3	2,6	1,4
Opacidade seca (%)	NCIN 169	93,6	94,2	95,7	95,3	92,7
Opacidade húmida (%)	NCIN 103	92,7	95,7	95,8	93,0	94,9
Índice de brancura (%)	NCIN 086	84,4	83,8	83,8	82,8	82,3
Índice de amarelecimento (%)	NCIN 086	2,5	2,6	2,7	2,8	3,1
Brilho 20°/ 60° / 85° (unidades de brilho)	NP EN ISO 2813:2001	1,3/2,9/7,8	1,2/2,4/4,2	1,2/2,3/4,0	1,2/2,2/3,7	1,2/2,1/2,4

Analisando os valores anteriores, verifica-se que o *CPV* e o tipo de resina incorporada influenciam as características das tintas, nomeadamente a opacidade seca, o brilho e o índice de brancura e amarelecimento. O brilho tende a aumentar com a diminuição do *CPV*, uma vez que a quantidade de resina incorporada aumenta. A opacidade seca tende a aumentar com o aumento do *CPV* devido ao aumento da percentagem de pigmento, cargas e porosidade.

Verifica-se, ainda, que a resina A confere melhores características de opacidade seca, índice de brancura e de amarelecimento do que a resina B

A tinta X4 e AX, apesar de apresentarem elevada capacidade de captação de formaldeído, não foram submetidas a ensaios de caracterização mais exaustivos, por exibirem uma viscosidade muito elevada. De forma a avaliar se este comportamento está relacionado com a resina, procedeu-se à adição do aditivo X à resina A (Figura 4.10) e à resina constituinte da tinta de referência (Figura 4.11) tendo-se verificado que reagem resultando num produto de elevada viscosidade.



Figura 4.10 - Adição de aditivo X à resina A



Figura 4.11 - Adição de aditivo X à resina constituinte da tinta REF.

4.2.2 Estabilidade acelerada

Após 15 e 30 dias de ensaio de estabilidade, as tintas REF., a tinta A1 e a tinta B1 apresentavam um aspeto físico e de película normais e uma separação de fases pouco significativa. Não foi possível avaliar as características da tinta B1 após 30 dias de ensaio de estabilidade em tempo útil.

Na Figura 4.12, Figura 4.13 e Figura 4.14 estão apresentadas a viscosidade stormer, o índice de brancura e de amarelecimento, respetivamente, 1 dia após ao fabrico das tintas, após 15 e 30 dias de ensaio de estabilidade.

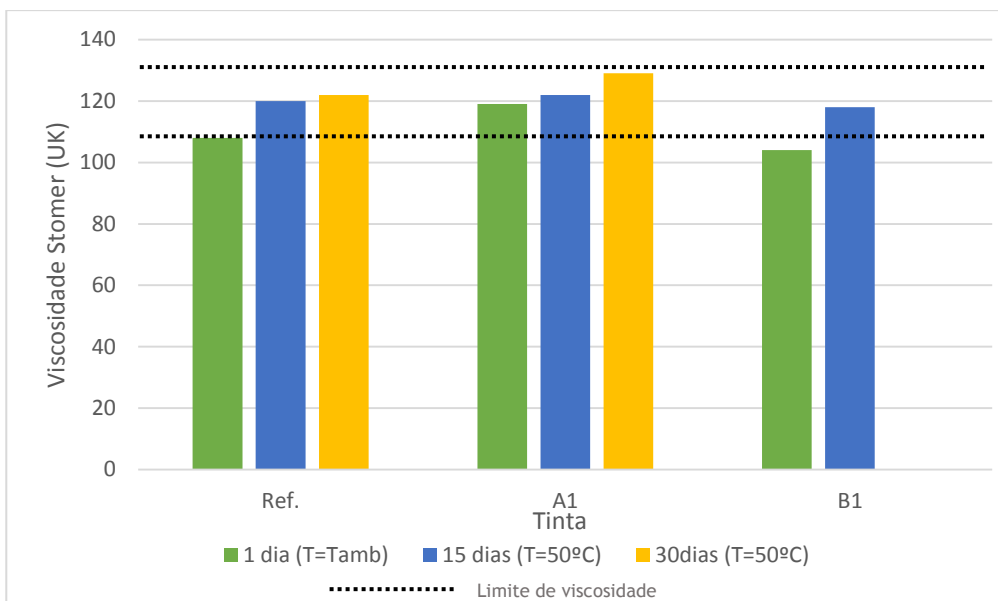


Figura 4.12 - Viscosidade stomer - comparação do valor imediato com o obtido após 15 e 30 dias de ensaio de estabilidade

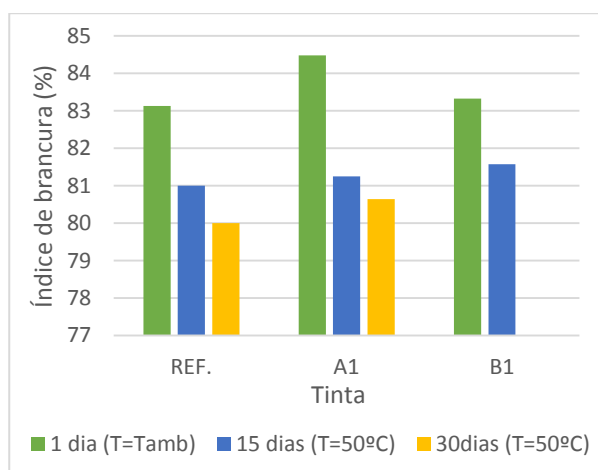


Figura 4.13 - Índice de brancura - comparação do valor imediato com o obtido após 15 e 30 dias de ensaio de estabilidade

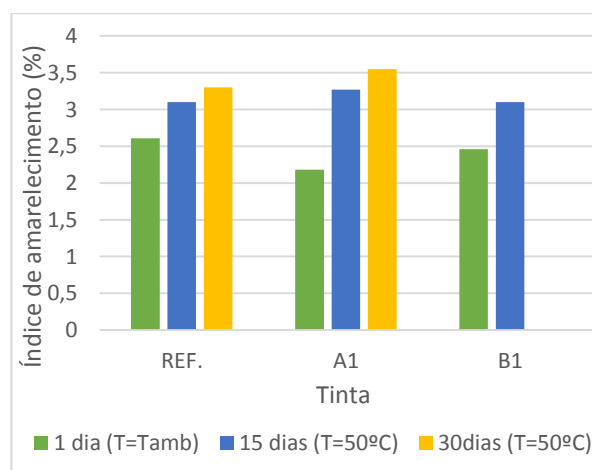


Figura 4.14 - Índice de amarelecimento - comparação do valor imediato com o obtido após 15 e 30 dias de ensaio de estabilidade

Analisando as figuras anteriores verifica-se que, ao longo do ensaio de estabilidade acelerada, há um aumento da viscosidade e do índice de amarelecimento e uma diminuição do índice de brancura em todas as tintas avaliadas. Este comportamento é o previsto para esta gama de produtos.

Não foi possível caracterizar a tinta X3 após ensaio de estabilidade acelerada uma vez que, após 15 dias de ensaio, esta apresentava um aspeto gelificado como mostra a Figura 4.15.



Figura 4.15 - Fotografia do aspecto físico da tinta com aditivo X após 15 dias de ensaio de estabilidade

4.2.3 Temperatura mínima de formação de película

A tinta REF., a tinta A1 e a tinta B1 apresentam uma temperatura mínima de formação de película de -2 °C.

4.2.4 Resistência à fissuração de uma tinta para espessuras elevadas

As duas tintas captadoras de formaldeído, A1 e B1, apresentam uma resistência à fissuração superior a 2000 µm. A tinta de referência que apresenta uma resistência de 1000 µm.

4.2.5 Resistência à amónia e água líquida

Na Tabela 4.8 estão apresentadas as resistências à amónia e à água líquida para as tintas ensaiadas.

Tabela 4.8 - Resistência à amónia e à água

Resistência	REF.	A1	B1
Amónia	10	3 R	10 S
Água	10	6 R	10 S

A tinta B1 apresenta a maior resistência à amónia e à água comparando com a tinta A1.

4.2.6 Resistência aos álcalis dos ligantes hidráulicos

Após o período destinado a este ensaio, verificou-se que todos os provetes aplicados com as tintas REF., A1 e B1 não apresentavam qualquer tipo de alteração mostrando, assim, que estas são resistentes aos álcalis dos ligantes hidráulicos.

4.2.7 Resistência ao manchamento (nódoa) da película de tinta

Na Figura 4.16 e Figura 4.17 estão apresentadas as películas de tinta com as nódoas no início do ensaio e após remoção e/ou lavagem, respetivamente.



Figura 4.16 - Fotografia das películas com as nódoas aplicadas



Figura 4.17 - Fotografia das películas manchadas após lavagem e/ou remoção

Após análise e atribuição da classificação segundo a norma NCIN 115 (Anexo 5), verificou-se que a película de tinta A1 apresenta uma menor alteração do aspeto da película comparativamente com as outras tintas.

4.2.8 Resistências ao polimento em húmido e seco da película de tinta

Na Figura 4.18 e Figura 4.19 estão apresentadas a diferença de brilho e a percentagem de

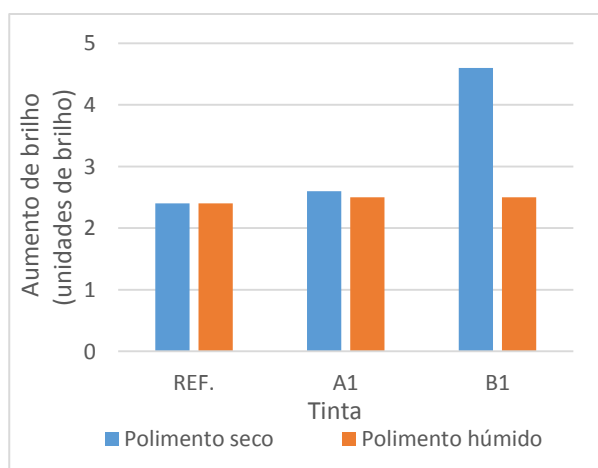


Figura 4.18 - Aumento de brilho após polimento seco e húmido

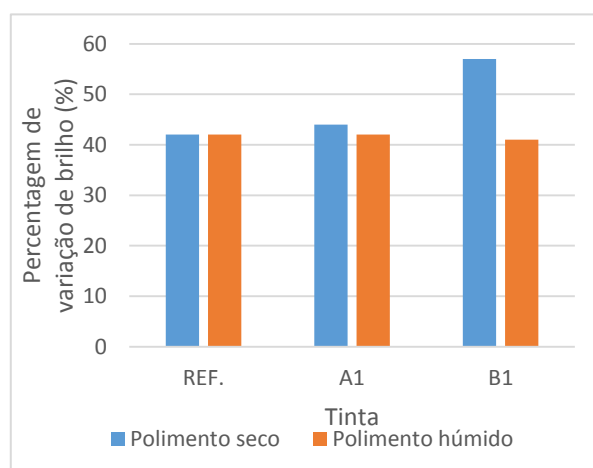


Figura 4.19 - Percentagem de variação de brilho após polimento seco e húmido

perda de brilho para polimento em húmido e em seco.

Verifica-se que a tinta A1 tem um comportamento semelhante à tinta REF., já a tinta B1 apresenta o pior comportamento no polimento seco, apresentando uma maior diferença de brilho.

4.2.9 Resistência de uma película de tinta à captação de sujidade

Na Tabela 4.9 estão apresentadas a diferença de cor da película de tinta após remoção das cinzas orgânicas (ΔE_{seco}) e lavagem com água ($\Delta E_{\text{húmido}}$).

Tabela 4.9 - Resistência da película de tinta à captação de sujidade

Tinta	REF.	A1	B1
ΔE_{seco}	2,6	4,3	5,1
$\Delta E_{\text{húmido}}$	0,8	0,8	3,9

Analisando os valores apresentados na Tabela anterior verifica-se que a tinta com a resina A1 apresenta a maior resistência à captação de sujidade do que a tinta B1, uma vez que apresenta menores valores de diferença de cor.

4.2.10 Resistência à esfrega húmida

A tinta REF., tinta A1 e tinta B1 são resistentes à lavagem e à esfrega húmida, pois ao fim de 5000 ciclos os seus traçados de esfrega na zona central não apresentaram qualquer trilho destruído.

4.2.11 Resistência à esfrega húmida e lavabilidade

Na Tabela 4.10 estão apresentadas os valores médios de perda de espessura após ensaio e a respetiva classe a que pertencem tendo em conta este valor.

Tabela 4.10 - Resistência à esfrega húmida e lavabilidade

Tinta	REF.	A1	B1
Perda de espessura (μm secos)	4,1	2,1	4,7
Classe segundo a NP EN 13300:2004	Classe 1	Classe 1	Classe 1

As tintas apresentam um comportamento semelhante sendo que todas são classe 1 (perda de espessura inferior a 5 μm secos), segundo a NP EN 13300:2004.

4.2.12 Aplicação prática em gesso cartonado

As duas tintas captadoras e a tinta de referência foram aplicadas em gesso cartonado. Todos os produtos apresentam características semelhantes de aplicação, sendo que a tinta B1 apresenta ligeiramente menor opacidade seca (Anexo 6).

4.3 Avaliação económica

A incorporação de resinas captadoras de formaldeído para a obtenção das tintas A1 e B1 aumenta o custo de matérias-primas em 39 % e 24 %, respetivamente, face ao custo da tinta REF.

4.4 Simulação

De forma a analisar a aplicabilidade deste tipo de tintas em situações semelhantes da realidade da emissão de formaldeído, considerou-se uma divisão sem renovações de ar interior.

Esta divisão apresenta duas paredes revestidas de placa de aglomerado de partículas e duas paredes revestidas de tinta captadora de formaldeído. (Tabela 4.11).

Tabela 4.11 - Dimensões da divisão

Área revestida por tinta (m ²)	30
Área revestida por placa de aglomerado (m ²)	30
Volume da divisão (m ³)	75

Considerou-se que o painel de aglomerado de partículas que reveste a divisão apresenta a classe E1, segundo a classificação de emissão de formaldeído da norma de placas de derivados de madeira para a construção (Anexo B da EN 13986:2004).

O limite de emissão para esta classe corresponde a 124 µg por m² de placa de aglomerado e por hora. Atendendo que a área revestida corresponde a 30 m², a emissão máxima por hora será de 3,72 mg, correspondendo a 89 mg de emissão total de formaldeído em 24 horas.

As tintas captadoras de formaldeído A1 e B1 apresentam uma taxa de remoção de 88,3 e 73,8 mg de formaldeído por m² de parede revestida e por dia, respetivamente. Atendendo ao valor total de emissão de formaldeído, 1 m² de área revestida por estas tintas são suficientes para remover todo o formaldeído emitido em 24 horas.

5 Conclusões

O principal objetivo desta dissertação consistiu no desenvolvimento de revestimentos captadores de formaldeído no ar interior. No final deste projeto foi possível produzir um revestimento com elevada capacidade de captação de formaldeído e com boas características de resistência e aplicabilidade.

No decorrer deste projeto foi avaliado o poder de captação de formaldeído de três captadores durante 24 horas em função do *CPV* do revestimento, do modo de incorporação do captador e do tempo de secagem da película de tinta.

Atendendo aos resultados apresentados e discutidos, conclui-se que as resinas captadoras de formaldeído apresentam uma maior capacidade de captação de formaldeído para *CPVs* mais baixos, devido ao aumento da quantidade de resina na formulação. Relativamente, ao aditivo X, este apresenta uma maior captação de formaldeído para revestimentos com *CPVs* mais elevados devido ao aumento da porosidade da película de tinta.

O modo de incorporação de aditivo X é um passo decisivo para a captação de formaldeído, uma vez que quando este composto é adicionado em fase de pós-adição, apresenta uma maior capacidade de captação.

Relativamente ao tempo de secagem, verifica-se que os revestimentos apresentam maior poder de captação de formaldeído para tempo de secagem mais elevado.

Apesar do aditivo X ter apresentado os melhores resultados de captação de formaldeído, os revestimentos obtidos com este captador não instáveis não originando um produto comercializável.

Os revestimentos com a resina A apresentam os melhores resultados de captação de formaldeído para um *CPV* de 54,4 % e um tempo de secagem de 28 dias, tendo uma taxa de remoção de 106 mg de formaldeído por m² de superfície revestida de tinta e por dia. Relativamente à caracterização das tintas, verifica-se que o revestimento com a resina A referido anteriormente apresenta melhores características do que o revestimento com a resina B e características de um bom revestimento, pronto a ser comercializado.

6 Avaliação do trabalho realizado

6.1 Objetivos realizados

O principal objetivo desta dissertação foi o desenvolvimento de revestimentos captadores de formaldeído no ar interior. Para tal, incorporou-se três captadores de formaldeído em tintas avaliando o poder de captação em função do *CPV* do revestimento, da fase de incorporação e do tempo de secagem. Os revestimentos com maior capacidade de captação de formaldeído foram caracterizados exaustivamente, de forma a selecionar o revestimento com as melhores características, tendo-se comparado com a tinta de referência.

6.2 Limitações e trabalho futuro

A principal limitação desta dissertação foi avaliar e quantificar a capacidade de captação de formaldeído, atendendo que não foi possível implementar os métodos determinados pelas normas ISO 16000-23:2009 e JCT-1074:2008 em tempo útil.

Atendendo que estes revestimentos têm potencial para ser comercializados com o intuito de melhorar a qualidade do ar interior, recomenda-se a implementação do método de quantificação de captação de formaldeído pela norma ISO 16000-23:2009. Recomenda-se também a avaliação da resposta da tinta com a resina B com diferentes tempos de secagem e incorporação do aditivo X em outros produtos CIN. Deverão também ser testadas novas matérias-primas captadoras de formaldeído, como a ureia e compostos que contenham aminas.

6.3 Apreciação final

O trabalho desenvolvido no decorrer desta dissertação permitiu atingir o objetivo proposto, desenvolver um produto inovador e comercialmente viável.

Em termos pessoais e/ou académicos, este trabalho permitiu-me adquirir novos conhecimentos na formulação e caracterização de tintas, estar com contacto com a realidade empresarial e/ou industrial da área da engenharia química e desenvolver um produto inovador para a empresa e para os seus clientes.

Referências

- [1] C. E. (CE), “Comunicado de Imprensa - Europa 2020: a Comissão propõe uma nova estratégia económica para a Europa,” 3 Março 2010. [Online]. Available: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-10-225_pt.htm?locale=en. [Acedido em 5 Novembro 2013].
- [2] C. E. (CE), “Desafios e políticas no domínio da energia: Contribuição da Comissão para o Conselho Europeu de 22 de Maio de 2013,” [Online]. Available: ec.europa.eu/europe2020/pdf/energy2_pt.pdf. [Acedido em 1 Novembro 2013].
- [3] J. S. Carlos, P. D. Silva, P. Castro-Gomes e H. Corvacho, *Pré-aquecimento do ar de ventilação: Recomendações para estratégias bioclimáticas*, vol. 38, Universidade do Minho, 2010.
- [4] CIN-Corporação Industrial do Norte, S.A., “Perfil de um líder ibérico,” [Online]. Available: <http://www.cincoatings.com/portal/portal/user/anon/page/sccsobrenos.psml?categoryOID=63818080808480GC&contentid=D981808080CO&nl=pt>. [Acedido em Dezembro 2013].
- [5] A. P. d. A. (APA), “Qualidade do Ar em Espaços Interiores: um guia técnico,” Amadora, 2009.
- [6] “Portaria n.º 353-A/2013 de 4 de Dezembro,” em *Diário da República*, 1.ª série – N.º 235, 2013.
- [7] “Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto,” em *Diário da República*, 1.ª série – N.º 159, 2013.
- [8] T. Salthammer, S. Mentese e R. Marutzky, “Formaldehyde in the Indoor Environment,” em *Chem. Rev.*, 2010, pp. 2536-2572.
- [9] S. Viegas e J. Prista, “Exposição profissional a formaldeído - que realidade em Portugal?,” *Revista Saúde & Tecnologia*, vol. #4, Novembro 2009.
- [10] W. H. O. (WHO), “WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants,” 2010. [Online]. Available: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/128169/e94535.pdf.

- [11] S. P. C. Viegas, “Tese de Doutoramento em saúde pública na especialidade de saúde ambiental e ocupacional - "Estudo da Exposição profissional a formaldeído em laboratórios hospitalares de anatomia patológica",” Lisboa, 2010.
- [12] C. D. d. S. Pina, “Dissertação de mestrado em contaminação e toxicologia ambientais: "Avaliação da exposição profissional ao formaldeído",” 2010.
- [13] J. C. d. Santos, “Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais: "Avaliação da qualidade do ar interior em jardins de infância",” 2010.
- [14] Associação Portuguesa de Tintas, “COVs,” [Online]. Available: <http://www.ap tintas.pt/covs.aspx>. [Acedido em Novembro 2013].
- [15] S. Kim, “The reduction of indoor air pollutant from wood-based composite by adding pozzolan for building materials,” *Construction and Building Materials*, vol. 23, pp. 2319-2323, 2009.
- [16] S. Boran, M. Usta, S. Ondaral e E. Gümüşkaya, “The efficiency of tannin as a formaldehyde scavenger chemical in medium density fiberboard,” *Composites: Part B*, vol. 43, p. 2487-2491, 2012.
- [17] S. Kim, H.-J. Kim, H.-S. Kim e H. H. Lee, “Effect of Bio-Scavengers on the Curing Behavior and Bonding Properties of Melamine-Formaldehyde Resins,” *Macromolecular Materials and Engineering*, vol. 291, pp. 1027-1034, 2006.
- [18] M. Özalp, “The effect of borax pentahydrate addition to urea formaldehyde on the mechanical characteristics and free formaldehyde content of medium density fiberboard (MDF),” *Eur. J. Wood Prod*, vol. 68, pp. 117-119, 2010.
- [19] S. Boran, M. Usta e E. Gümüşkaya, “Decreasing formaldehyde emission from medium density fiberboard panels produced by adding different amine compounds to urea formaldehyde resin,” *International Journal of Adhesion & Adhesives*, vol. 31, pp. 674-678, 2011.
- [20] I. Fujii, Y. Murata, S. Ueda, S. Negishi e T. Taguchi, “Formaldehyde scavenger and wood material using same”. United States Patet Patente US 8,389,125 B2, 5 Março 2013.
- [21] N. A. Costa, J. Pereira, J. Ferra, P. Cruz, J. Martins, F. D. Magalhães, A. Mendes e H. L. Carvalho, “Scavengers for achieving zero formaldehyde emission of wood-based panels,” *Wood Sci Technol*, 2013.

- [22] J. Wang e S. D. Wagers, “Benefit compositions and formaldehyde scavengers for same”. United States Patente US 2009/0014034 A1, 15 Janeiro 2009.
- [23] CIN - Corporação Industrial do Norte, S. A., *Manual de Construção e Civil e Decoração*, Maia, Maio de 2009.
- [24] J. L. Nogueira, *Noções Básicas de Tintas e Vernizes (Volume I)*.
- [25] CIN - Corporação Industrial do Norte S. A., *Metodologia de Formulação de Tintas*, Maia, Outubro de 2013.
- [26] J. Pereira, C. Coelho, J. Ferra, J. Martins, F. Magalhães e L. Carvalho, “Métodos de ensaio de emissões de formaldeído para painéis derivados de madeira - avaliação e comparação de resinas de baixa emissão,” em *7º Congresso Florestal Nacional "Florestas - Conhecimento e Inovação"*, 2013.

Anexo 1 Determinação da massa de aditivo X incorporada na tinta

A massa de aditivo X incorporada na tinta foi determinada através os seguintes passos e/ou considerações:

1. Determinação da quantidade de formaldeído emitida por um painel derivado de madeira

Considerou-se um painel derivado de madeira com as características apresentadas na Tabela 3.1 [26].

Tabela 0.1 - Propriedades do painel derivado de madeira [26]

Painel derivado de madeira	
Limites superior de emissão de formaldeído	8 mg de formaldeído / 100 mg de placa seca anidra
Área	20 m ²
Espessura	17 mm
Densidade	640 kg/m ³

A massa formaldeído (m_{CHOH}) emitida pelo painel derivado de madeira foi determinada através da Eq. (0.1) onde L_{CHOH} corresponde ao limite superior de emissão de formaldeído do painel, ρ_{Painel} à densidade do painel, A_{Painel} à área do painel e d_{Painel} à espessura do painel.

$$m_{CHOH} (g) = L_{CHOH} (g \text{ CHOH} \cdot g^{-1} \text{ placa}) \times A_{Painel} (m^2) \times d_{Painel} (m) \times \rho_{Painel} (g \text{ placa} \cdot m^{-3}) \quad (0.1)$$

Aplicando os valores apresentados na Tabela 3.1 à equação anterior, o painel derivado de madeira emite 17,41 g de formaldeído correspondendo a 0,58 mol.

2. Determinação da quantidade de aditivo X necessária para reagir com formaldeído emitido pelo painel derivado de madeira

Tendo em conta que a proporção estequiométrica da reação entre o aditivo X e o formaldeído é de 2:1, o número de moles de aditivo X necessário para reagir com o número de moles emitidos pelo painel derivado de madeira considerado é de 0,29 mol correspondendo a 55,10 g.

3. Determinação da quantidade de tinta necessária para pintar uma parede

Considerando uma parede com a mesma área do painel derivado de madeira, o rendimento e a densidade da tinta selecionada, determinou-se a massa de tinta (m_{Tinta}) necessária para aplicar 2 demão através da Eq. (0.2) onde A_{Tinta} corresponde à área da tinta, R_{Tinta} ao rendimento prático da tinta, ρ_{Tinta} à densidade da tinta e D ao número de demãos.

$$m_{Tinta}(kg) = \frac{A_{Tinta}(m^2) \times \rho_{Tinta}(kg \cdot l^{-1}) \times D}{R_{Tinta}(m^2 \cdot l^{-1})} \quad (0.2)$$

A parede necessita de 4,23 kg da tinta selecionada.

4. Determinação da percentagem de massa de aditivo X

Dividindo a massa de aditivo X obtida no ponto 2 pela massa de tinta obtida no ponto 3, concluiu-se que são necessárias 1,3 g de aditivo X por 100 g de tinta.

No entanto, para que o aditivo X não seja o reagente limitante na reação com o formaldeído, consideraram-se 2 g de aditivo X por 100 g de tinta.

Anexo 2 Quantificação da captação de formaldeído através do método de análise de gás [26]

Inicialmente, procedeu-se ao aquecimento das duas câmaras até atingirem a temperatura de 60°C e isolamento dos bordos dos provetes de madeira MDF comercial (Figura 0.1) com as 400 x 50 x espessura (mm) com folha de alumínio.

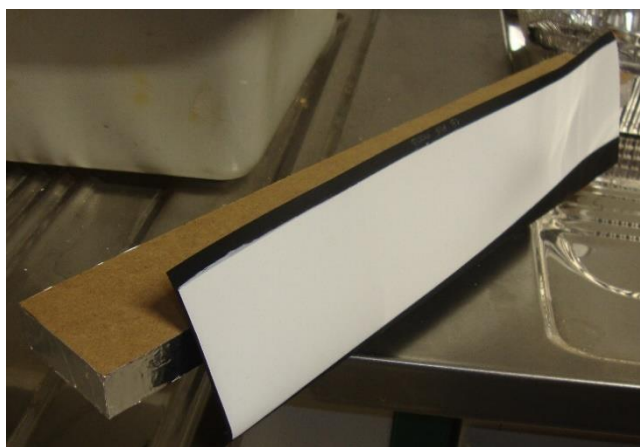


Figura 0.1 - Fotografia do provete de MDF e carta LENETA com película de tinta

Para cada ensaio, dois provetes foram colocados nas câmaras com temperatura de $(60 \pm 0,5)$ °C, com uma humidade relativa inferior a 3 %, um fluxo de ar de (60 ± 3) l/h e sob uma sobrepressão de 1000 - 1200 Pa. Na câmara 1 colocou-se 200 cm² de película de tinta em carta LENETA com 200 µm húmidos, para além do provete de MDF, e na câmara 2 colocou-se apenas um provete de MDF (Figura 0.2).



Figura 0.2 - Fotografia da câmara de gás 1 e 2

Após a colocação dos provetes e da tinta, procedeu-se ao início do ensaio com a passagem de ar no interior de cada uma das câmaras. Este foi continuamente retirado passando através de dois frascos de lavagem de gás (Figura 0.4) que continham 25 ml água destilada, durante uma hora. Após uma hora, o ar passou a borbulhar automaticamente para um novo par de frasco e assim sucessivamente até um total de 4 lavagens.



Figura 0.3 - Fotografia dos frascos de lavagem de gás

No final das 4 horas de ensaio, as 8 amostras (4 de cada câmara) foram recolhidas para balões volumétricos de 250 ml tendo-se perfazido com água destilada. Posteriormente, procedeu-se ao tratamento das soluções para determinar a concentração de formaldeído através de espectrofotometria.

A determinação de formaldeído foi baseada na reação de *Hantzsch* onde o formaldeído em solução reage com acetato de amónio e acetilacetona formando 3,5-diacetil-1,4-dihidrolutidina (DDL). Este composto apresenta uma cor amarelada e um máximo adsorção para o comprimento de onda de 412 nm.

Foram pipetados 10 ml de cada solução de formaldeído para balões volumétricos de 50 ml onde foram adicionados 10 ml de solução acetilacetona e 10 ml de solução acetato de amónio em cada um.

Findos os 15 minutos de aquecimento, os balões foram retirados do banho térmico tendo sido guardados num armário, para estarem protegidos da luz, durante tempo suficiente para que atingissem a temperatura ambiente. Seguidamente, as soluções foram analisadas no espectrofotómetro.

Anexo 3 Quantificação da captação de formaldeído através do método do exsicador [26]

Cada tinta (película em carta LENETA com 200 μm húmidos de área 200 cm^2) foi colocada numa rede de arame de aço inoxidável sobre um cristalizador contendo 300 ml de água destilada no interior de um exsicador com um diâmetro nominal de 240 mm. Para além da película de tinta, foi colocado um vidro de relógio com 10 μL de formaldeído a 37%.

Os exsicadores foram fechados hermeticamente durante 24 horas a uma temperatura de $(20 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$.

Decorridas as 24 horas, os cristalizadores com solução aquosa de formaldeído foram recolhidos num balão volumétrico de 100 ml. Posteriormente, procedeu-se ao tratamento das soluções para determinar a concentração de formaldeído através de espectrofotometria de absorção molecular para o comprimento de onda de 412 nm.

A determinação de formaldeído foi baseada na reação de *Hantzsch* onde o formaldeído em solução reage com acetato de amónio e acetilacetona formando 3,5-diacetil-1,4-dihidrolutidina (DDL). Este composto apresenta uma cor amarelada e um máximo adsorção para o comprimento de onda de 412 nm.

Foram pipetados 25 ml de cada solução de formaldeído para balões volumétricos de 50 ml onde foram adicionados 25 ml de solução de acetilacetona-acetato de amónio em cada um. Posteriormente, os balões volumétricos foram colocados num banho térmico durante 10 minutos à temperatura de 65°C .

Findos os 10 minutos de aquecimento, os balões foram retirados do banho térmico tendo sido guardados num armário, para estarem protegidos da luz, durante tempo suficiente para que atinjam a temperatura ambiente. Seguidamente, as soluções foram analisadas no espectrofotómetro.

A concentração de formaldeído (C_{CHOH}) das soluções recolhidas dos exsicadores foi determinada através da Eq.(0.3) sendo F o declive da reta de calibração do espectrofotómetro ($8,15 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) e A_e a absorvância lida.

$$C_{CHOH} (mg \cdot l^{-1}) = F (mg \cdot l^{-1}) \times A_e \quad (0.3)$$

A massa de formaldeído não captada ($m_{CHOH \text{ não captada}}$) corresponde à quantidade de formaldeído existente na água dos cristalizadores, tendo sido calculada através da Eq. (0.4) sendo $V_{\text{Água}}$ o volume de água colocado no cristalizador (0,3 l).

$$m_{CHOH \text{ não captada}}(mg) = C_{CHOH} (mg \cdot l^{-1}) \times V_{\text{Água}}(l) \quad (0.4)$$

Anexo 4 Resultados obtidos utilizando o método do exsicador

Tabela 0.2 - Absorvância, massa captada e não captada de CHOH obtidas a partir do método do exsicador

Secagem	Captador	CPV (%)	Abs. 1	Abs. 2	Abs. média	Massa não captada (mg)	Massa captada (mg)
5 dias	Resina A	54,4	0,953	0,968	0,961	2,35	1,76
		62,6	1,165	1,114	1,140	2,79	1,32
		70,1	1,262	1,288	1,275	3,12	0,99
	Resina B	55,4	1,088	1,052	1,079	2,64	1,47
		64,5	1,182	1,217	1,197	2,93	1,18
		70,7	1,263	1,269	1,266	3,09	1,05
	Aditivo X (F. dispersão)	52,8	1,457	1,417	1,437	3,51	0,60
		61,7	1,304	1,303	1,304	3,19	0,92
		68,9	1,201	1,182	1,192	2,91	1,20
	Aditivo X (Pós-adição)	62,9	0,874	0,888	0,881	2,15	1,96
		61,8	0,755	0,764	0,760	1,86	2,25
	Resina A + Aditivo X	61,8	0,755	0,764	0,760	1,86	2,25
28 dias	Resina A	54,4	0,819	0,820	0,820	1,99	2,12
		62,6	0,979	1,065	1,022	2,50	1,61
		70,1	1,193	1,195	1,194	2,92	1,19

Anexo 5 Classificação da resistência ao manchamento (nódoa)

Tabela 0.3 - Classificação da resistência ao manchamento (nódoa) e média das classificações

Nódoa	REF.	A1	B1
Café	2	2	2
Vinho tinto	2	1	2
Azeite	0	0	1
Mostarda	1	1	1
Ketchup	0	0	0
Batom	2	2	2
Sumo de laranja	0	0	0
Graxa	2	2	2
Creme de mãos	0	0	0
Lápis de cera	2	2	2
Lápis de cor	2	1	2
Lápis	2	1	2
Caneta	2	2	2
Marcador	2	1	1
Média	1,4	1,1	1,4

Escala de classificação: 0 = Sem alteração; 1 = Alteração da película moderada; 2 = Alteração muito profunda

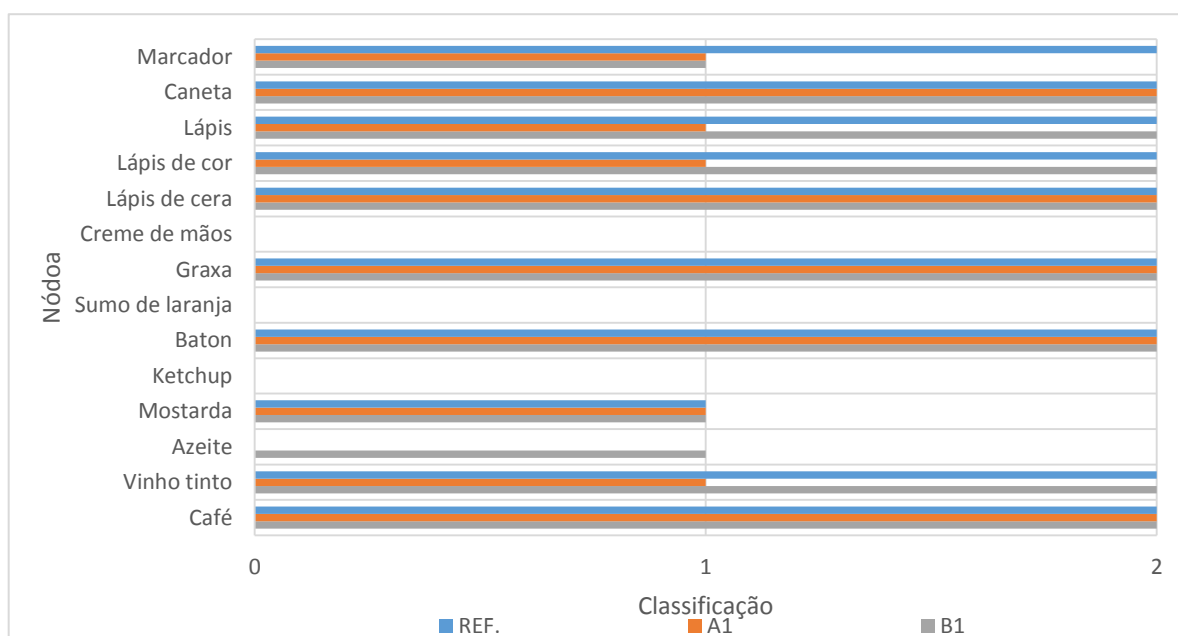


Figura 0.4 - Representação gráfica da classificação da resistência ao manchamento (nódoa)

Anexo 6 Avaliação da aplicação prática em gesso cartonado

Tabela 0.4 - Avaliação da aplicação prática em gesso cartonado

Característica	REF.	A1	B1
Aplicabilidade	4	4	4
Opacidade húmida	3	3	2,5
Salpicos	4	4	4
Opacidade seca	4	3,5	3
Emenda	4	4	4
Espalhamento	4	3	4
Brancura	4	4	4
Aspetto final	4	4	3,5

Escala de avaliação: 1 = mau; 2 = medíocre; 3 = satisfaz; 4 = bom; 5 = muito bom

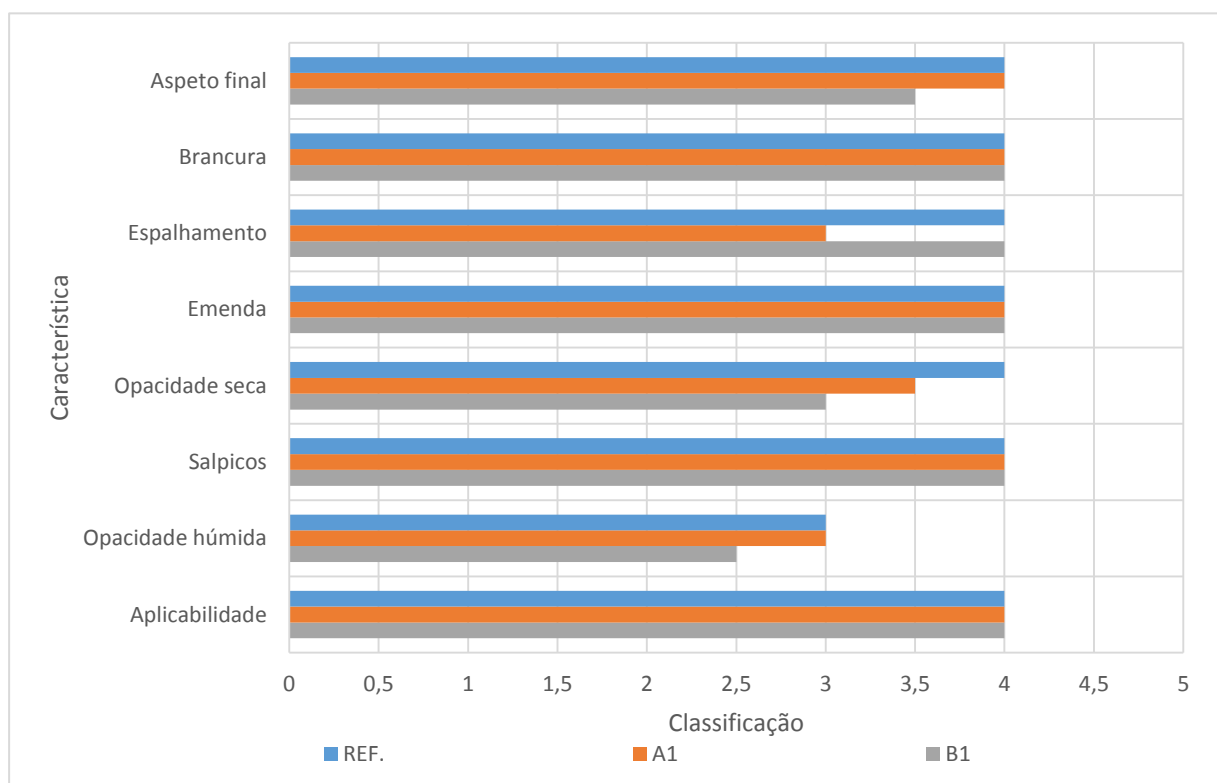


Figura 0.5 - Representação gráfica da avaliação da aplicação prática em gesso cartonado